

LANE

MEDICAL



LIBRARY

LEVI COOPER LANE FUND

22

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1918

THÈSE

N° —

POUR

LE DOCTORAT EN MÉDECINE

PAR

René-Roger CAVAILLÉS

Né le 5 novembre 1891, à Paris

Ancien Externe des Hôpitaux de Paris

Médecin Aide-Major de 1^{re} classe à l'Artillerie d'Assaut

ESSAIS

DE

PHOTOMÉTRIE
RADIOLOGIQUE

Président : M. WEISS, professeur

PARIS

IMPRIMERIE DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE

JOUVE & C^{ie}, ÉDITEURS

15, Rue Racine (VI^e)

1918

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

LE DOYEN: M. ROGER

ASSESEUR: G. POUCHET

PROFESSEURS

	MM.
Anatomie	NICOLAS
Physiologie.	CH. RICHEL
Physique médicale.	WEISS
Chimie organique et Chimie générale.	DESGREZ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	BLANCHARD
Pathologie et Thérapeutique générales.	ACHARD
Pathologie médicale.	TEISSIER
Pathologie chirurgicale.	N...
Anatomie pathologique.	LEJARS
Histologie.	LETULLE
Opérations et appareils.	PRENANT
Anatomie topographique.	N.
Pharmacologie et matière médicale	AUGUSTE BROCA
Thérapeutique	POUCHET
Hygiène	P. CARNOT
Médecine légale.	CHANTEMESSE
Histoire de la médecine et de la chirurgie.	N.
Pathologie expérimentale et comparée	N.
Bactériologie.	ROGER
	BEZANÇON
	GILBERT
Clinique médicale.	DEBOVE
	CHAUFFARD
	WIDAL
	HUTINEL
Maladies des enfants.	
Clinique des maladies mentales et des maladies de l'encéphale	DUPRÉ
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.	N.
Clinique des maladies du système nerveux	PIERRE MARIE
	DELBET
Clinique chirurgicale	QUENU
	HARTMANN
	N.
Clinique ophtalmologique.	DE LAPERSONNE
Clinique des maladies des voies urinaires.	LEGUEU
	BAR
Clinique d'accouchements	COUVELAIRE
	RIBEMONT-DESSAIGNES
	N.
Clinique gynécologique	KIRMISSON
Clinique chirurgicale infantile	ALBERT ROBIN
Clinique thérapeutique.	MARFAN
Hygiène et clinique de la 1 ^{re} enfance.	

AGRÉGÉS EN EXERCICE

MM.			
ALGLAVE	GUILLAIN	LOEPER	ROUVIERE
BERNARD	JEANNIN	MAILLARD	SCHWARTZ (A.)
BRANCA	JOUSSET (A.)	MOCOQUOT	SICARD
BRUMPT	LARBE (H.)	MULON	TANON
CAMUS	LAIGNEL-LAVASTINE	NICLOUX	TERRIEN
CASTAIGNE	LANGLOIS	NOBECOURT	TIFFENEAU
CHAMPY	LECENE	OKINCZYC	VILLARET
CHEVASSU	LEMIERRE	OMBREDANNE	ZIMMERN
DESMAREST	LENORMANT	RATHERY	
GOUGEROT	LEQUEUX	RIBIERRE	
GREGOIRE	LEREBOULLET	RICHAUD	
GUENIOT	LEGRY	ROUSSY	

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées, doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation

A MES PARENTS

A MON FRÈRE

Tué pour la France
(Souain 1916)

A MES AMIS

A MES MAÎTRES DES HÔPITAUX

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ OMBRÉDANNE
(Saint-Louis)

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ LœPER
(Boucicaut)

MONSIEUR LE PROFESSEUR DEBOVE
(Beaujon)

A MES MAÎTRES D'EXTERNAT

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ MAUCLAIRE
(Charité)

MONSIEUR LE DOCTEUR H. DUFOUR
(Broussais)

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ OMBRÉDANNE
(Bretonneau)

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE DOCTEUR G. WEISS

Professeur à la Faculté de Médecine de Paris

Membre de l'Académie de Médecine

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées

ESSAIS DE PHOTOMÉTRIE RADIOLOGIQUE

CHAPITRE PREMIER

Intérêt de la Question

Numeri regunt Mundum.

§ 1. — Introduction. — N'est-il pas étrange, lorsqu'on fait un examen radioscopique d'entendre dire, par exemple « ce sommet est plus gris que l'autre; celui-ci s'éclaire moins que celui-là pendant les mouvements respiratoires; telle autre partie est voilée? » — En examinant une radiographie n'emploie-t-on pas des expressions analogues? Ne dit-on point devant un cliché sur lequel on constate de l'ostéoporose: cette zone est plus transparente que la région voisine.

Or de telles expressions ne me paraissent pas scientifiques et choquent l'esprit. Aussi ai-je recherché comment on pouvait mesurer ces intensités, la

solution de ce problème ne me semblant pas jusqu'ici avoir été envisagée.

La base de toute science est de déterminer, aussi exactement que possible, les rapports numériques qui doivent exister entre différents phénomènes. L'introduction de ces facteurs inconnus et considérables que comporte la Vie ne saurait empêcher les phénomènes biologiques d'être régis par des lois ; or une loi ne peut être exprimée que par des nombres. — Et là, ne retrouvons-nous point la théorie chère à Pythagore : dans les arts comme dans les sciences, apparaît et règne le nombre ; sans toutefois tomber dans l'excès analogue à celui de ces anciens astronomes mystiques qui rêvaient à l'harmonie que devaient faire les planètes entre elles.

Mais il est à remarquer qu'il existe des mesures utiles et d'autres inutiles. « Il ne s'agit point naturellement de celles qui sont prises dans de telles conditions d'incertitude qu'elles sont erronées par nature, mais seulement de certaines autres qui, exactes et observées dans des conditions bien définies ne paraissent pas susceptibles de servir de base à la découverte de la loi ou généralisation du phénomène étudié ».

D'autre part « l'application de l'analyse mathématique à des phénomènes naturels, quoique très simples, peut avoir des dangers si la vérification expérimentale est repoussée d'une manière complète. Dans ce cas l'analyse mathématique devient un instrument aveugle si on ne le retrempe de temps

en temps au foyer de l'expérience » (Claude Bernard).

§ 2. — **Intérêt clinique.** — L'introduction des mesures doit donc être faite aussi fréquemment que possible. Aussi y a-t-il intérêt à chercher à évaluer numériquement le rapport pouvant exister entre l'intensité de deux plages comparables d'une radioscopie ou d'une radiographie. Ce rapport peut être désigné sous le nom de « rapport lucidimétrique » ; il mesure la transparence aux rayons des points de l'organe considéré.

L'intérêt que la clinique peut retirer de ces mesures semble surtout devoir être marqué dans l'étude comparative des poumons et dans la recherche de la modification de la structure des os : ainsi dans l'ostéoporose traumatique, la tuberculose et la lèpre.

Des recherches intéressantes sur ce rapport lucidimétrique seraient à faire dans toutes les affections pulmonaires, mais c'est certainement dans l'étude de la tuberculose au début que l'intérêt en paraît le plus grand. Actuellement l'examen radiologique est indispensable, en collaboration avec toutes les autres méthodes d'investigation pour établir un diagnostic au début ; mais quel ne serait pas l'intérêt de suivre les modifications de ce rapport en fonction de l'évolution de la maladie et d'en chercher à tirer des éléments de pronostic.

Il y a surtout lieu de considérer la différence de transparence des poumons due soit à une ventilation

diminuée, soit à une pleurite des sommets, après s'être assuré que cette différence n'a pas une cause extra-pulmonaire, n'est pas due à un développement des muscles de la paroi plus prononcé d'un côté que de l'autre, ou bien ne provient pas du squelette, anomalie ou malformation de la clavicule, omoplate, rachis ; ou encore d'un ganglion sus-claviculaire ou d'un goitre peu apparent.

Normalement la teinte de l'image varie avec les mouvements respiratoires, s'éclaire en inspiration, s'assombrit en expiration, et ce phénomène est surtout marqué aux bases ; or il y aurait lieu de mesurer d'une façon précise ces changements de teintes, un défaut d'éclaircissement étant fonction d'un défaut d'expansion pulmonaire.

La teinte des sommets, est plus foncée que celle des bases, la quantité d'air y étant moindre ; mais normalement la teinte des sommets est très variable suivant que l'on examine un sujet maigre ou obèse, musclé ou non ; une diminution symétrique de la teinte des sommets n'est donc pas nécessairement pathologique.

Comme signes de la tuberculose au début, Orton indique l'invariabilité de la teinte du sommet malade pendant les mouvements respiratoires. N'y a-t-il point intérêt à rechercher d'une façon plus précise dans quels rapports se font ces modifications de teinte des deux sommets l'un par rapport à l'autre, et du sommet par rapport au reste du poumon.

Kreurfuchs a remarqué l'invariabilité de la teinte

du sommet lésé pendant la toux alors que l'ombre du reste du poumon diminue beaucoup ; là encore des rapports d'intensité seraient intéressants à connaître.

Il faudrait éliminer l'erreur que donne une modification de transparence due aux changements de rapports des ombres des côtes et des espaces intercostaux pendant les mouvements respiratoires.

Pour Bittorf, si on augmente progressivement l'intensité du rayonnement en partant de 0, on voit le sommet lésé s'éclairer longtemps après le sommet sain ; en plus de la constatation de cette différence de temps, il y aurait lieu de mesurer les différences de clarté à ces différents temps.

Dans la région du hile existent des ombres diffuses diverses de celles dues à des ganglions d'origine discutée et dont une part revient à des épaissements péribronchiques ; la mesure de leurs intensités pourrait, peut-être, apporter quelque aide à la solution du problème.

Au début de la tuberculose, l'ombre du hile augmente d'intensité et de surface. La teinte des ganglions dépend de leur position, de l'épaisseur sous laquelle ils se présentent au trajet des rayons, ou de leur nature, hypertrophiés, scléreux, crétacés ou caséeux. Examinés sous une même épaisseur, les ganglions crétacés et scléreux ont été trouvés noirs, les hypertrophiés moins foncés, et les caséeux les plus transparents ; un rapport plus précis des teintes de ces trois formes serait intéressant à connaître.

On pourra suivre rigoureusement la transformation des ombres avec l'évolution des lésions vers la guérison ; l'ombre anormale devient plus diffuse alors que celle des ganglions et du hile devient moins étendue et moins opaque. Si au contraire les lésions augmentent, l'ombre s'étend et devient plus opaque.

Lorsqu'il existe des cavernes, les images sont très variables, même chez un même sujet, et d'un jour à l'autre se modifient comme dimensions et teinte suivant que la cavité contiendra du pus ou qu'elle viedra d'être évacuée ; aussi, dans ce cas, n'y a-t-il pas beaucoup à attendre des résultats donnés par la méthode.

Lorsqu'il se produit des poussées congestives on peut noter une augmentation très nette de l'opacité, qu'il serait nécessaire de mesurer.

En dehors de la tuberculose, le rapport lucidimétrique serait à rechercher dans les autres affections pulmonaires suivantes.

Dans la bronchite chronique il y aurait à mesurer l'accentuation de l'ombre du hile ; dans la dilatation des bronches il y a un voile grisâtre aux bases et de l'opacité due à la péribronchite ; cependant, dans la dilatation bronchique l'opacité n'atteint pas celle de la tuberculose.

L'ombre de la congestion pulmonaire n'est pas aussi opaque que celle de la pneumonie.

Les modifications de l'ombre avec l'évolution de la pneumonie sont à suivre ; l'ombre pâlit mais ne

s'efface que très lentement, persistant à la suppression de tous les signes d'auscultation.

La bronchopneumonie donne un aspect pommelé analogue à certaines tuberculoses chroniques.

L'emphysème donne lieu à un éclaircissement général de l'ombre, et la différence d'éclairement avec les mouvements respiratoires ne se produit pas.

La sclérose généralisée donne lieu à une diminution totale de la clarté de l'image, la sclérose partielle à une obscurité diffuse, l'atélectasie à une obscurité diffuse sans rien de caractéristique.

Enfin, la nature des kystes peut influencer sur la nature de l'ombre ; dans le kyste hydatique elle est ordinairement plus opaque et plus homogène que dans le kyste dermoïde.

Dans les pleurésies, on admettait que les épanchements purulents étaient plus opaques que les séro-fibrineux ; cette distinction a été reconnue inexacte, mais peut-être conviendrait-il de s'en assurer au moyen de mesures.

Après l'opération de l'empyème, le pronostic est basé sur l'examen de la perméabilité et de l'expansion pulmonaire.

Or avec la méthode proposée on peut apprécier la perméabilité par le degré de clarté.

Ainsi dans tous ces nombreux exemples il y aurait un intérêt certain à rechercher le rapport lucidimétrique.

Les modifications de la structure osseuse sont

facilement décelables à l'aide des méthodes radiologiques. Ainsi on connaît la décalcification consécutive aux traumatismes de guerre, mais la nature et les causes en sont assez mal définies. Pour Delorme, la caractéristique radiologique de l'ostéotrophie, c'est la plus grande transparence de l'os, alors que dans l'ostéite c'est la destruction des travées mais sans augmentation de la transparence osseuse. Des mesures précises de ces transparences ne sont-elles point à rechercher ?

Dans la tuberculose, dans la lèpre, on trouve aussi de la raréfaction osseuse et il y aurait également lieu d'étudier numériquement les modifications de transparence au cours de leur évolution.

Voici donc quelques-unes des principales questions où l'on pourrait rechercher le rapport lucidimétrique.

La connaissance de ce rapport semble devoir donner lieu à la découverte de quelques lois lorsque des observations suffisamment nombreuses auront été réunies. Et, quand bien même, on n'en pourrait rien déduire, il me semble nécessaire de le rechercher pour la seule satisfaction de l'esprit, par simple curiosité. On pourra exprimer de la seule façon possible, c'est-à-dire numériquement, la différence qui existe entre deux plages que l'on examine à l'écran ou sur une radiographie.

§ 3. — **Difficultés. Erreurs.** — Dans les expériences de ce genre, les plus grosses difficultés sont pour interpréter convenablement les résultats et

éliminer les causes d'erreur. Il faut en effet écarter tous les facteurs qui ne doivent pas entrer en compte dans l'expérience, pour ne conserver que ceux-là seuls dont dépendent les mesures que l'on veut obtenir. Ainsi des facteurs tels que la nature du rayonnement ne doivent pas varier, ou plus exactement, s'ils varient on doit pouvoir à chaque instant connaître la valeur de ces variations.

Une ampoule peu résistante donne des rayons peu pénétrants et la teinte sombre des parties molles se différencie peu de celle du squelette ; au contraire une ampoule résistante donnera des os une teinte claire qui elle aussi se différencie peu des régions voisines ; il faut donc choisir le degré intermédiaire de résistance et dans le cas qui nous occupe c'est une assez grosse difficulté ; on recherchera la plus grande différence de teintes entre ces images.

Il y a lieu d'éliminer la variation de sensibilité lumineuse en n'opérant que lorsque l'adaptation n'est plus susceptible de se modifier ; alors on peut diminuer la pénétration des rayons pour pouvoir percevoir de faibles différences de perméabilité.

Si l'on opère sur des radiographies, en plus des difficultés précédentes, d'autres causes d'erreurs, comme nous le verrons ultérieurement, viendront s'ajouter à mesure qu'augmente le nombre des opérations : il faudra tenir compte des résultats différents que l'on obtient suivant la durée de la pose,

du développement, de la nature du révélateur, de la rapidité du séchage.

Une interprétation des plus difficiles est celle du rapport des teintes avec le degré de perméabilité des organes. Outre les facteurs énumérés plus haut il y a lieu de tenir compte de facteurs inexactement connus et difficiles à pouvoir évaluer tel que l'épaisseur variable des organes profonds, leur situation, leur densité qui donnent des ombres se superposant de valeur variable. La teinte que l'on obtient n'est donc que la résultante des teintes que chaque organe traversé produirait, et ces composantes ne peuvent guère être appréciées avec exactitude.

Mais toutes ces difficultés ne sont pas insurmontables ; ce qu'il importe le plus c'est de les bien connaître, de ne point en omettre pour pouvoir espérer obtenir des résultats qui correspondent bien aux phénomènes étudiés.

Le problème considéré est un problème ordinaire de photométrie et peut être aisément résolu par les procédés existants. Ces procédés sont nombreux et il y aurait eu lieu d'étudier leurs valeurs comparées et d'examiner ceux qui sont susceptibles de donner les meilleurs résultats, et le plus simplement, dans le cas considéré. Malheureusement les événements actuels ne m'ont point permis d'entreprendre toutes ces expériences et j'ai dû en laisser de côté un certain nombre.

Je vais d'abord décrire les principes généraux de photométrie et essayer de montrer ensuite quelques

types d'appareils susceptibles d'être employés pour résoudre ce problème ; du reste, quelques types étant établis, la plupart en dérivent tous par des modifications plus ou moins compliquées et plus ou moins précises.

En astronomie, la photométrie constitue une des parties les plus importantes, et quoiqu'à première vue les procédés à employer en astronomie et en radiologie paraissent devoir être différents, j'ai pensé qu'il y avait lieu de les étudier et de voir si par quelques modifications on ne pourrait les employer ici.

Ainsi dans les œuvres d'Arago on trouve les premières descriptions d'appareils de polarisation simples servant de photomètres et j'ai entrepris avec eux des essais satisfaisants que je n'ai, malheureusement, pas pu poursuivre.

Dans les chapitres II et III, j'ai examiné des types d'appareils que l'on pourrait utiliser en radioscopie ou en radiographie ; dans le chapitre IV j'ai eu en vue la réalisation pratique.

CHAPITRE II

Principes généraux. — Photométrie radioscopique

I. — PHOTOMÈTRE THÉORIQUE

L'œil ne peut facilement estimer le rapport de l'éclairement de deux surfaces (ou de l'intensité de deux sources), mais il peut apprécier assez exactement l'égalité ou l'inégalité de ces éclairagements ; on cherche donc à les rendre équivalents. On peut comparer ces deux éclairagements soit directement, soit par l'intermédiaire d'un troisième.

Le photomètre le plus simple comprend la source à étudier, la source de comparaison, un écran et un dispositif permettant de faire varier l'intensité de la lumière soit de la source à étudier, soit de la source de comparaison, soit des deux sources à la fois.

§ 1. — Sources de comparaison. — Il s'agit soit de mesures relatives, soit de mesures absolues ; dans ce cas il faudra disposer d'une source d'une constance rigoureuse. On peut employer des étalons à flamme soit à l'acétate d'amyle, soit ali-

mentés par une bouteille d'acétylène dissout, ce qui est le plus pratique. La pression du gaz, le calibre et la forme du bec étant bien déterminés on obtient ainsi une source d'intensité qui peut-être considérée comme constante. On peut utiliser des becs à flammes plates ou des becs à jets. Féry emploie une lampe à acétylène dont l'image du jet est projetée sur un diaphragme percé d'une fente perpendiculaire au jet ; sur le diaphragme des repères fixent la position de la flamme. Cet étalon est très simple, a une source très petite, et le cône lumineux qui en sort est parfaitement défini et permet d'appliquer rigoureusement la loi du carré de la distance ; mais un inconvénient est que si l'on change de bec l'intensité peut varier. L'étalon Fouché utilise le jet d'acétylène en son entier, dont on règle simplement le débit.

Guilleminot dans ses expériences de quantitométrie a employé comme source de comparaison un échantillon de radium, mais le problème est ici tout à fait différent et la solution peut-être obtenue plus simplement.

On pourrait aussi utiliser, comme l'a fait Henry, des sels phosphorescents pour la mesure des faibles éclairéments. Si l'on excite une substance phosphorescente telle que du sulfure de zinc, l'intensité lumineuse ira en décroissant suivant une loi empirique, indiquée par Becquerel, de la forme :

$$i_t = i_0 e^{-at}$$

i étant l'intensité de la lumière de la substance phos-

phorescente, t le temps où se fait l'observation. Pour Henry entre 3 et 1.400 secondes on doit employer la formule :

$$i^{0,5936} (t + 1,278) = 1.647,5$$

La quantité de lumière émise par le sulfure de zinc est indépendante de la distance du ruban de magnésium qui sert à exciter la phosphorescence, de la durée d'illumination, de l'épaisseur de la couche de sulfure. Cet écran présente donc des caractères propres à un étalon photométrique. On déduira l'intensité au temps t de la formule ci-dessus ou plus simplement d'une courbe préalablement construite en prenant comme ordonnées les intensités et comme abscisses les temps.

Henry avait aussi confectionné des écrans dégradés qui permettaient d'obtenir plus rapidement la teinte cherchée.

On pourrait aussi employer plus simplement d'autres sels dont la phosphorescence, excitée par la lumière du jour, se conserve égale un temps beaucoup plus long.

Mais l'étalon le plus simple sera constitué par une ampoule électrique alimentée par une pile ou un accumulateur. Il est nécessaire de monter dans le circuit un petit rhéostat qui permet d'obtenir la constance de la source lorsque le débit de la pile vient à varier. Lorsqu'on s'en sert uniquement comme source intermédiaire, les deux mesures étant faites un temps très court l'une après l'autre, l'in-

tensité de la source peut être considérée comme n'ayant varié que d'une façon innappréciable. Mais même s'il s'agissait de mesures absolues l'exactitude serait très suffisante ; ainsi il résulte des expériences de Nordmann qu'avec une lampe à filament métallique de 4 volts sous 1 ampère on peut, sans avoir à toucher au rhéostat plus d'une ou deux fois par heure, maintenir constant à 0^v.01 près le voltage aux bornes de la lampe, ce qui correspondait dans son appareil à une variation d'éclat de 0^g.01.

Une lampe à filament de carbone fournit des résultats moins satisfaisants, non seulement par son rendement inférieur, mais surtout parce que les variations d'intensité sont fonction d'une puissance élevée (3^e ou 4^e) des variations de voltage.

L'étalon électrique possède donc toutes les qualités désirables.

§ 2. — Variation de l'éclairement. — Il est nécessaire de pouvoir faire varier l'éclairement d'une façon déterminée pour l'égaliser à celui de la plage à étudier. Cette variation peut s'obtenir à l'aide d'un assez grand nombre de procédés.

Un des plus simples, lorsqu'il s'agit d'une source électrique, est de faire varier la résistance du circuit. mais nous venons de voir que ce moyen ne donnerait que des résultats médiocres.

En faisant varier la distance de la source à l'écran, les éclairéments produits sur la surface recevant perpendiculairement les rayons varient en raison inverse des carrés des distances de la source à l'écran.

Mais si ce moyen fournit un éclaircissement variable et mesurable, dans le cas que nous envisageons, il est assez peu pratique à réaliser par suite de la longueur qu'il faudrait donner aux tubes.

On pourrait aussi, sans meilleur résultat, faire varier l'incidence : la lumière reçue par une surface est proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons avec les normales à la surface (loi de Lambert).

L'emploi de diaphragmes permet plus aisément de faire varier l'éclaircissement d'une surface. On peut employer un jeu de diaphragmes d'ouverture définie, les ouvertures étant par exemple calculées de sorte que les éclaircissements soient entre eux comme une suite de nombres simples.

Le diaphragme iris permet d'obtenir rapidement une ouverture circulaire d'un diamètre voulu. Le diaphragme en œil de chat est d'une construction plus simple ; la surface libre est proportionnelle au carré de la distance des angles opposés ; on utilise toujours une étendue symétrique par rapport au centre.

Un grillage métallique diminue l'insensibilité dans le rapport des vides à la surface totale sans altérer sensiblement la pureté des images, mais il comporte des inconvénients plus graves que les diaphragmes et il est nécessaire de faire une étude préalable de leurs effets.

On peut aussi employer une fente de spectroscope dont la vis sera munie d'un tambour divisé de façon

que l'on puisse connaître la surface de la fente ; mais ce dispositif présente certains inconvénients dont les principaux sont la production de franges de diffraction si les bords de la fente sont trop rapprochés, ou la rapide variation d'éclat dès que l'on ouvre quelque peu la fente.

Par absorption on peut facilement graduer la lumière soit en utilisant des verres absorbants, des écrans colorés : verre ou papier, mais le grain du papier peut être un sujet d'erreur ; des liquides colorés contenus dans des cuves à faces bien parallèles. On étudiera ces liquides au spectroscope et on les modifiera de façon à obtenir un spectre analogue à celui de la source à étudier. C'est ainsi que Nordmann indique, pour obtenir un écran vert laissant passer la partie du spectre comprise entre $\lambda = 0 \mu, 59$ et $0 \mu, 49$, la formule suivante :

Vert naphтол.....	2 gr.
Tartrazine.....	2,5
Bleu carmin.....	0,5
Eau distillée.....	6.250

Une solution de sulfate de cuivre ammoniacale donne une teinte bleue, laissant passer le spectre visible depuis b et l'ultra-violet jusqu'à N .

On peut aussi employer soit un jeu de verres neutres, soit ce qui est d'un emploi plus facile, des prismes à la façon de de Maistre. On utilise deux prismes de verre de même angle, opposés formant une lame à faces parallèles d'épaisseur variable ;

l'un des prismes est de verre blanc, l'autre de verre teinté. Mais lorsqu'il s'agit de sources polychromatiques, l'expérience montre qu'il est impossible d'obtenir une teinte neutre (Langley, Young, Pickering) ; la transparence est plus grande pour les couleurs moins réfrangibles et la différence très appréciable dans l'étendue du spectre lumineux.

Une vis micrométrique annexé au prisme permet d'évaluer l'épaisseur du prisme qui est proportionnelle au déplacement de la vis ; le coefficient de transmission est : e^{-hd} .

Le rapport des éclats e_1 et e_2 de deux sources :

$$l \frac{e_1}{e_2} = h (d_1 - d_2)$$

En appliquant la méthode à des éclairages connus ou déterminera la constante h .

Par réflexions successives sur des miroirs de verre sous le même angle, la fraction de lumière finale est égale à une puissance du pouvoir réflecteur indiquée par le nombre de réflexions.

Les appareils tournants permettent de déterminer le rapport de deux éclairements inégaux.

On fait passer la lumière à travers un disque tournant portant un certain nombre de secteurs évidés d'ouverture variable ; l'image paraît continue et son intensité est réduite dans le rapport des secteurs pleins à la surface totale, à condition que l'intervalle des interruptions soit inférieur à $\frac{1}{10}$ seconde.

Polarisation. — Les phénomènes de polarisation

permettent d'obtenir des intensités variables que l'on peut mesurer avec exactitude. Cette méthode a été employée par de nombreux auteurs dont le premier fut Arago.

Si on fait tomber un faisceau de lumière sur un prisme biréfringent tel qu'un spath on obtient à la sortie deux faisceaux l'un ordinaire polarisé dans le plan de la section principale, l'autre extraordinaire polarisé dans un plan perpendiculaire à la section principale. La section principale est le plan perpendiculaire à la face d'entrée du prisme passant par l'axe du rhomboïde.

Si donc I est l'intensité du faisceau incident ; après ce premier cristal on a deux faisceaux $O = \frac{I}{2}$

et $E = \frac{I}{2}$; à la sortie d'un second cristal placé après le premier on a (pour une position différente du parallélisme ou de la perpendicularité des 2 sections principales) 4 images dont l'intensité en fonction de l'angle α des deux sections est (loi de Malus).

$$O' = \frac{I}{2} \cos^2 \alpha \quad E' = \frac{I}{2} \sin^2 \alpha \quad O'' = \frac{I}{2} \sin^2 \alpha \quad E'' = \frac{I}{2} \cos^2 \alpha$$

On peut à la place du second spath employer un nicol ; c'est un spath scié très obliquement puis recollé ; il réfléchit totalement les rayons ordinaires et ne laisse sortir que le faisceau extraordinaire polarisé. Nous aurons deux images dont les intensités seront : $I' = I \sin^2 \alpha$ et $I'' = I \cos^2 \alpha$, I étant l'intensité du faisceau après la sortie du premier cristal. Si les deux sections coïncident on n'obtiendra qu'une seule

image, mais en faisant tourner le nicol il apparaît une seconde image dont l'intensité croît avec l'angle α des deux sections jusqu'à 90° à mesure que décroît l'intensité de la première image. A 45° les intensités des deux images sont égales.

Ainsi d'après la loi de Malus on peut connaître les intensités de ces images. Une table calculée à l'avance donnerait rapidement ces valeurs.

Au lieu d'un nicol et d'un spath on peut employer deux nicols ; dans ce cas si les deux sections coïncident il y a extinction complète, puis à mesure que l'angle α croît l'intensité augmente jusqu'à 90° proportionnellement à $\sin^2 \alpha$.

Mais il existe des causes d'erreur. Il y a de la lumière réfléchie sur les faces d'entrée et de sortie des deux prismes ; une partie aussi est absorbée par le baume. Un faisceau naturel qui passe successivement par un polariseur et un analyseur inclinés de l'angle α est donc réduit à la fraction : $t \cos^2 \alpha$. le coefficient t étant relatif au cas où le polariseur et l'analyseur sont parallèles.

Pour comparer deux éclairéments Q et Q' en plaçant un polariseur et un analyseur sur le trajet de chacun des faisceaux, si l'éclairement est le même, on aura :

$$Q t \cos^2 \alpha = Q' t' \cos^2 \alpha'$$

En permutant les faisceaux, pour des angles β et β' on aura :

$$Q' t \cos^2 \beta = Q t' \cos^2 \beta' ; t \cos \alpha \cos \beta = t' \cos \alpha' \cos \beta'$$

Si la précision des lecteurs ne dépasse pas $\frac{1}{50}$ la loi de Malus est vérifiée.

§ 3. Ecrans photométriques. — La nature de l'écran employé influe sur les résultats. Le papier est trop rugueux et l'éclat de sa surface ne paraît pas uniforme. On peut se servir de papier enduit de stéarine, huile de vaseline, essence de térébenthine. Mais une plaque de verre couverte d'une couche très fine d'amidon ou de lait qu'on a laissé sécher est préférable (Foucault). Un verre finement dépoli ou une plaque photographique non impressionnée révélée et fixée donne une couche à grains très fins.

Eclairement d'une surface. — Lorsqu'une source est de dimensions non négligeables on considère sa surface apparente σ , c'est-à-dire sa projection sur un plan perpendiculaire à la direction moyenne des rayons. Si cette surface est homogène son éclat intrinsèque E est l'éclat de l'unité d'étendue. Un élément de surface s situé à une distance R d'une source d'intensité I éclairée sous une incidence i reçoit s'il n'y a pas d'absorption par le milieu intermédiaire une quantité de lumière : $\frac{Is \cos i}{R^2}$. L'éclairement d'une surface est la quantité de lumière que reçoit une étendue égale à l'unité, c'est-à-dire

$$\frac{I \cos i}{R^2} = \frac{E \sigma \cos i}{R^2}$$

$\frac{\sigma}{R^2}$ est l'ouverture angulaire α d'une source de dimen-

sions finies et l'éclairement est alors $E \cos i$.

Si deux surfaces de même nature reçoivent des éclairagements inégaux sous une même incidence elles émettent dans une direction donnée des quantités de lumière proportionnelles à leurs éclairagements ; leurs éclats intrinsèques sont proportionnels à ces éclairagements.

Le photomètre doit être disposé de façon à ne pouvoir être éclairé par de la lumière diffusée par d'autres surfaces que l'écran, et l'œil ne recevoir que les lumières à examiner et être protégé contre toute lumière étrangère, pour conserver sa sensibilité.

Lorsqu'on emploie un étalon intermédiaire la comparaison des deux autres sources se fait par substitution. Soit h le rapport de deux éclairagements Q et Q' , dans certaines conditions indépendantes des sources en permutant les faisceaux et en modifiant les éclairagements Q et Q' dans des rapports f et f' pour l'égalité des images on aura :

$$h = \frac{Q'}{Q} \quad h = \frac{fQ}{f'Q'}$$

$$\text{d'où : } f'Q'^2 = fQ^2 \text{ et } h^2 = \frac{f}{f'}$$

Avec une lunette on forme des images aériennes, ce qui permet de supprimer l'écran. Les images doivent se former à la distance de vision distincte. L'image d'une surface lumineuse produite dans une lunette conserve toujours le même éclat apparent que la surface elle-même tant que l'anneau oculaire est sensiblement plus grand que la pupille.

La quantité de lumière qui forme l'image d'un élément de la surface est proportionnelle à son éclat intrinsèque, à l'ouverture libre de l'instrument et au carré du rapport de la distance focale de la lunette à la distance de la surface à l'objectif.

Lorsqu'on prend comme source primitive une surface uniformément brillante et que l'on fait pénétrer la lumière par des ouvertures S et S' les éclairagements produits aux distances R et R' sont dans le rapport :

$$\frac{S}{R^2} \times \frac{R'^2}{S'}$$

Si les faisceaux ont été affaiblis dans des rapports f et f' tels que les deux éclairagements deviennent égaux on a :

$$f \frac{S}{R^2} = f' \frac{S'}{R'^2}$$

Bouguer comparait les mêmes étendues apparentes de deux surfaces identiques éclairées par une même source l'une suivant la normale, l'autre obliquement et modifiait leur distance D et D' à la source de façon à obtenir le même éclat. Les éclairagements Q et Q' étant en raison inverse du carré de la distance, les éclats apparents deviennent égaux pour :

$$\rho'Q' = \rho Q \quad \frac{\rho}{\rho'} = \frac{Q'}{Q} = \frac{D^2}{D'^2}$$

Les substances translucides telles que le verre dépoli ou couvert d'une poudre diffusante, un milieu opalin ou une feuille de papier diffusent aussi par transmission une partie de la lumière.

Pour des directions déterminées d'incidence et

d'émission, l'éclairement produit par un écran translucide est proportionnel à l'éclairement primitif, c'est-à-dire en raison inverse des carrés des distances de l'écran à la source et au photomètre.

§ 4. **Organes accessoires.** — Pour augmenter la précision des mesures il est nécessaire d'obtenir la contiguité des plages à comparer. On pourra d'autant mieux juger de leur égalité de teintes que les bords en seront plus nets, mieux définis, aussi rapprochés que possible et même bord à bord.

On place dans le tube deux prismes ou deux miroirs inclinés à 45 degrés sur l'axe, réunis en un bloc pouvant se déplacer suivant l'axe de la lunette ; dans un deuxième tube perpendiculaire au premier et symétriquement au bloc se trouvent deux prismes qui reçoivent chacun la lumière venant des sources à examiner ; en déplaçant le bloc les images s'éloigneront ou se rapprocheront jusqu'à contiguité (fig. 1).

On emploie aussi pour apprécier l'égalité de teintes un cube de Lummer et Brodhun : il est formé de deux prismes rectangles isocèles dont on a argenté une petite plage au centre d'une hypoténuse ; si les deux faisceaux arrivent à angle droit l'un traverse le cube, l'autre se réfléchira sur la petite plage argentée et on modifiera le flux de façon à obtenir l'égalité d'éclairement.

On peut le modifier de la façon suivante pour obtenir un écran à contraste. Deux prismes rectangles isocèles sont collés par leurs hypoténuses après avoir

été argentés sur une des bases suivant les rectangles représentés en trait figure 2 et en hachure figure 3.

Si les flux P et Q sont égaux, l'observateur ne distingue plus les plages argentées des plages voisines. Si on place devant les plages a et b des lames de verre identiques α et β , ces plages a et b seront plus sombres que les parties voisines ; on cherche à réaliser l'égalité de ces plages a et b par modification des flux P et Q . Ce procédé est un peu plus précis et moins fatigant que le précédent (Baillaud).

Blondel emploie un dispositif un peu différent :

Un prisme rectangulaire est argenté suivant son hypoténuse mp , contre laquelle est collée un prisme mns argenté suivant ns ; ms porte au voisinage de la ligne de visée CD une ouverture ou grillage ménagé dans l'argenteure, de forme variée, par exemple un cercle divisé en quatre secteurs : deux argentés, les deux autres découpés. Un troisième prisme nsp sert à compléter le bloc. Ces prismes ont de 5 à 10 millimètres et sont combinés avec une loupe de fort grossissement qui amplifie l'écran tout en concentrant dans l'œil tout le cône de rayons venant des plages. (fig. 4).

II. — TYPES D'APPAREIL

Ces principes établis, nous pouvons examiner quelques types d'appareils susceptibles d'être employés en radioscopie.

On peut les classer suivant trois types :

1° On observe directement la source considérée sans la modifier.

2° On l'examine au moyen d'un système optique ;

3° On modifie l'intensité de la source que l'on étudie.

§ 1. Appareil direct. — Un appareil simple peut être constitué de la façon suivante (fig. 5) : une boîte (revêtue de plomb), munie à une extrémité de deux viseurs O et O' , une cloison divise la boîte en deux ; en A une ouverture d'un diamètre de 1 à 2 centimètres, munie au besoin d'un diaphragme réglable permettant de bien circonscrire la plage à étudier ; en L une ampoule électrique, en C des écrans colorés donnant la teinte désirée ; en D un diaphragme à ouverture variable (ou tout autre système de réduction de lumière), en E un écran sur lequel se forme la plage de comparaison ; E peut se déplacer. Si S et S' sont deux ouvertures de diaphragme, R et R' les distances de l'écran au diaphragme, on aura les éclats E et E' tels que :

$$\frac{ES}{R^2} = \frac{E'S'}{R'^2}$$

Mais ce système présente l'inconvénient que les deux écrans vus par chaque œil ne sont pas dans un même plan, ce qui gêne l'accommodation.

Dispositif latéral. — On peut améliorer l'appareil en se servant d'un dispositif latéral. La source, le diaphragme et les écrans colorés sont contenus dans un tube perpendiculaire au tube O ; un miroir à

45 degrés (ou un prisme) renvoie les rayons sur l'écran E placé dans le tube. Ce miroir peut être de verre noir ou un prisme absorbant (prisme de Herschel). On peut ainsi donner une plus grande longueur à la distance R.

Ces deux types d'appareils peuvent être améliorés par l'adjonction de lentilles ; on pourra obtenir deux images virtuelles que l'on comparera ; l'objectif du tube de comparaison pourra se trouver, soit dans ce tube même, soit dans le tube latéral et l'écran E sera supprimé.

§ 2. **Photomètre Touchet.** — A l'extrémité d'un tube un viseur O ; à l'autre extrémité un demi-cercle AB servant d'écran sur lequel se forme l'image de la lampe L dont les rayons ont passé par les écrans C, le diaphragme D et ont été réfléchis par le miroir m (ou un prisme à réflexion totale), AB' est l'ouverture par laquelle on examine la tache à étudier (fig. 6).

Photomètre Mascart. — Cet appareil un peu modifié est le suivant : une lentille L donne de A une image dans le plan du diaphragme D. La lampe de comparaison est montée à l'extrémité d'un tube parallèle au premier et après être passée par une lentille de champ qui en donne des rayons à peu près parallèles la lumière qui en est émanée éclaire un écran E' dont l'image donnée par L se forme dans le plan D après réflexion sur le miroir M et le prisme p . Le diaphragme D porte une ouverture circulaire et se trouve en contact avec le prisme p de sorte que

les deux moitiés de l'image sont éclairées respectivement par les deux systèmes ; on regarde par une lentille oculaire O. En F et F' sont des diaphragmes commandés par des vis graduées de sorte qu'il est facile d'égaliser les deux éclairements. Les éclairements sont proportionnels au nombre de divisions N et N' qui représentent les largeurs d'ouverture (fig. 7).

Photomètre Blondel. — On pourrait modifier quelque peu l'appareil de Blondel de la façon suivante. Au moyen d'un prisme de Lummer on compare la source à étudier dont l'image se forme sur un écran E avec une source dont l'éclairement est rendu variable par un diaphragme œil de chat D muni d'une vis micrométrique (fig. 8).

§ 3. **Photomètre Bouguer.** — Au lieu d'observer des images virtuelles on peut former des images réelles sur un écran, en remplaçant par des écrans les oculaires du premier appareil décrit, et en plaçant des lentilles qui donneront deux images sur cet écran ; les éclairements E et E₁ sont proportionnels aux surface libres S et S₁ données par le diaphragme variable :

$$E S = E_1 S_1$$

Un autre dispositif rappelant le photomètre de Foucault (fig. 9) serait le suivant : la source S peut se déplacer d'une façon variable sur un tube latéral, en m un miroir réfléchissant la lumière sur un écran dépoli E E'. La lumière de la tache à étudier est projetée par la lentille L sur E' ; lorsque les éclairements

en E et E' seront égaux on aura pour l'éclairement de A, R étant la distance de S à l'écran :

$$E = \frac{K}{R^2}$$

Pour une autre tache A' on aurait : $E' = \frac{K}{R'^2}$

$$\text{d'où : } \frac{E}{E'} = \frac{R'^2}{R^2}$$

Au lieu de mettre les 2 écrans E et E' sur un même plan il sera avantageux de leur faire faire un certain angle, mais l'appareil est plus encombrant.

Photomètre Rumford. — Dans quelques cas on pourra placer dans le tube une tige qui éclairée par S donnera une ombre sur l'écran E'. On règle la distance R de S à l'écran de façon que l'ombre portée ait la même intensité que la tache donnée par A. Pour une autre tache A' l'égalité d'éclairement sera pour une distance R', et comme ci-dessus, on aura :

$$\frac{\bar{E}}{E'} = \frac{R'^2}{R^2}$$

Il faudra avoir soin de diaphragmer sur les écrans E et E' pour éliminer toute lumière étrangère et n'avoir sur l'écran que les ombres à étudier, pour conserver à l'œil sa sensibilité.

Photomètre Bunsen. — Dans ce photomètre (fig. 10) l'écran est imprégné au centre d'huile ou de stéarine ; il est éclairé des deux côtés à la fois par les deux sources. La tache disparaît quand les deux éclairéments sont égaux ; on regarde la tache par un

viseur O ; la source S se déplace de façon à réaliser cette égalité d'éclairement.

Mais la disparition de la tache varie avec l'incidence et suivant que l'on regarde suivant IO ou IO' ; il faut donc regarder suivant O'I et OI après avoir retourné l'écran photométrique pour en observer toujours la même face. L'expérience montre que la disparition est indépendante de la nature de la tache pour : $10^\circ < i < 80^\circ$.

Deux miroirs également inclinés de chaque côté de l'écran permettent d'observer en même temps les deux faces du photomètre et de constater la disparition de la tache des deux cotés à la fois.

Au lieu de modifier la distance de la source de comparaison on peut employer tous les autres modes de variation d'éclairement déjà décrits.

§ 14. Appareils à double image. — Ces appareils permettent d'obtenir des sources à étudier deux images très rapprochées. On peut employer un prisme d'angle très faible (pour éviter la dispersion) ne couvrant qu'une partie de l'objectif. Les intensités sont dans le rapport des surfaces utilisées de l'objectif. Deux petits prismes identiques donnent des résultats plus comparables.

On peut employer une lunette à objectif coupé (héliomètre) qui donne une double image de deux objets voisins et on égale l'éclat de 2 des 4 images par une obturation convenable des deux parties de l'objectif.

Spectrophotomètre. — Cet instrument permet

de comparer l'intensité de deux sources dans la région correspondante de leur spectre. Sur une moitié de la fente on fait tomber la lumière de la source à étudier ; celle de la source de comparaison placée latéralement est envoyée sur la seconde partie de la fente par un prisme à réflexion totale, d'où deux spectres superposés. L'un des objectifs est muni d'un diaphragme œil de chat dont on fait varier l'ouverture pour égaliser l'intensité des deux parties correspondantes. Un diaphragme dans le plan focal de l'oculaire permet d'isoler ces régions. Le rapport des intensités cherchées égale le rapport des carrés de l'ouverture du diaphragme et de celle du deuxième objectif.

Vierordt se sert d'une fente en deux parties, l'une d'ouverture constante, l'autre variable munie d'une vis micrométrique, ce qui permet de faire varier l'un des éclairéments.

Mais le peu de lumière envoyé par l'écran fluorescent ne permettrait sans doute pas d'obtenir une grande précision.

On pourrait aussi faire des observations simultanées des deux plages de l'écran fluorescent sans employer de source de comparaison. Il suffirait au moyen de miroirs de les projeter sur un même écran, au contact, en en modifiant l'intensité de l'une dans un rapport donné.

L'appareil suivant permet de supprimer la source de comparaison tout en ne faisant que des observations successives.

§ 5. **Acuité visuelle.** — Celsius dans son

lucimètre fait intervenir l'acuité visuelle. Lorsqu'on examine une page imprimée, si on diminue l'éclairement jusqu'à ce que le texte devienne illisible, il se passe des phénomènes physiologiques très complexes, la pupille s'agrandit, l'accommodation se modifie et si l'œil est presbyte l'observateur éloigne le papier. La méthode reste assez précise tant que les lumières à comparer restent de même qualité. On pourra au besoin se servir de verres correcteurs pour maintenir la distance invariable.

Dans l'appareil de Celsius il y avait un certain nombre de petits cercles noirs et on modifiait l'éclairement pour que les cercles fussent alternativement visibles ou transparents.

Il en est de même avec le photomètre de Stanoievitch. Une quantité d'énergie lumineuse minima est nécessaire pour produire une impression sur la rétine. Dans un espace obscur on ne voit aucun détail ; il faut une quantité de lumière déterminée pour pouvoir distinguer nettement un détail quelconque, triangle, cercle dessiné sur un papier. Cette quantité minima varie dans les limites de la variation de l'équation personnelle, mais ces variations sont approximativement de même ordre que celles qui influent en général sur les mesures photométriques.

L'instrument se compose d'une lunette de 20 centimètres de long ; d'un côté en verre dépoli, un diaphragme-iris muni d'un tambour divisé ; l'ouverture du diaphragme éclairée par le dépoli est au foyer d'une lentille donnant des rayons parallèles, une

partie de ces rayons éclaire une ouverture de 5 millimètres dans une plaque mince à quelques centimètres plus loin. Cette ouverture est observée de l'autre bout de l'appareil par une loupe. On ferme le diaphragme puis on l'ouvre jusqu'à voir nettement l'ouverture ronde ; on note la division du tambour. On éloigne ou on rapproche la source, et on ouvre ou on ferme le diaphragme pour apercevoir nettement l'ouverture.

L'instrument se gradue préalablement avec des étalons connus, puis on construit une courbe avec les divisions du tambour en abscisses, les intensités en ordonnées.

§ 6. **Extinction. — Neutralisation.** — Dans ce premier procédé on recherche de quelle quantité la lumière doit être affaiblie pour cesser d'être appréciable : Devant l'objectif d'une lunette on mettra un diaphragme à ouverture variable que l'on fermera jusqu'à disparition de l'image ; les éclairissements seront dans le rapport des surfaces d'ouverture. Cette méthode a été employée par Dawes et Pogson.

On peut employer un prisme en verre noir, comme nous l'avons vu, placé dans le plan de l'image donnée par une lunette ; on mesure l'épaisseur x du prisme nécessaire pour faire disparaître l'image. Le déplacement d du micromètre est proportionnel à l'épaisseur x du prisme. Pour deux observations on aura pour les éclairissements e_1 et e_2 :

$$l \frac{e_1}{e_2} = h (d_1 - d_2)$$

On peut aussi employer un appareil à deux nicols.

§ 7. Polarisation. — Les phénomènes de polarisation permettent de résoudre ces questions de photométrie qui consistent presque toujours à :

1° fractionner la lumière la plus intense d'une quantité connue pour l'égaliser à la plus faible.

2° S'assurer avec suffisamment de certitude de l'égalité de deux éclairagements.

Dans le premier cas on emploie un polariseur avec un analyseur ; dans le deuxième la polarisation chromatique : si entre le prisme de Nicol et l'objectif de la lunette de Rochon on place une lame de quartz on obtient deux plages teintées de couleurs complémentaires ; si on fait projeter l'un sur l'autre les bords de ces deux plages la partie commune ne sera blanche que si tous les points de la surface étudiée sont d'égale intensité.

Pour en revenir au premier cas nous avons trois solutions du problème. La première consiste à employer l'appareil à 2 nicols suivant (fig. 11).

Par la lunette on examine la plage à étudier, par le dispositif latéral on reçoit par l'intermédiaire d'un prisme à réflexion totale la lumière de la source de comparaison qui a traversé un système de lentilles, d'écrans colorés et 2 nicols dont l'un est solidaire d'un cercle divisé. On réalise l'égalité d'éclairement des deux plages en tournant le nicol d'un angle α soit ϵ l'éclairement de la plage A, E₀ de la source quand les sections principales des 2 nicols sont parallèles ; on aura :

$$\frac{\epsilon}{E_0} = \sin^2 \alpha$$

Pour une autre plage A' on aura :

$$\frac{\epsilon'}{E_0} = \sin^2 \alpha' \quad \text{d'où :} \quad \frac{\epsilon}{\epsilon'} = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha'}$$

Au lieu d'un dispositif latéral (Nordmann) on peut mettre les deux tubes parallèles, chaque œil visant dans un tube.

Ces procédés présentent quelques inconvénients, surtout quand l'intensité des rayons sur lesquels on opère n'est pas très grande, l'intensité variant proportionnellement à $\sin^2 \alpha$.

La lumière reste alors invisible pendant un déplacement notable de l'analyseur, et il est nécessaire de prendre la moyenne des directions pour lesquelles la lumière reparait d'une manière appréciable par une rotation dans les deux sens. La difficulté augmente encore si l'analyseur est imparfait ou la polarisation primitive incomplète car on ne peut plus observer qu'une intensité minima mal définie. La précision est plus grande quand on apprécie l'égalité de deux teintes au lieu d'un minimum.

Les deux procédés suivants sont indiqués par Arago. On emploie une lunette munie d'un spath d'Islande devant l'objectif, et à laquelle est adaptée un nicol que l'on peut placer devant ou derrière l'oculaire. Ce nicol peut tourner autour de l'axe de la lunette ; il entraîne un index qui se déplace devant un cercle divisé donnant l'angle des sections principales des cristaux.

On obtient ainsi dans le champ une image lorsque $\alpha = 0^\circ$ ou 90° et deux images pour les autres positions ; la première décroîtra alors que α croît et son intensité sera $I = I_0 \cos^2 \alpha$; la deuxième croîtra avec α et son intensité sera $I' = I_0 \sin^2 \alpha$, I_0 étant la $1/2$ intensité de l'image, si le nicol n'existait pas (les pertes par absorption étant négligées).

Soit à comparer 2 plages A et B d'intensité inégale ; pour un angle α on a 4 plages dans le champ de la lunette, d'intensité :

$I = AK \cos^2 \alpha$, $I' = AK \sin^2 \alpha$; $I_1 = BK \cos^2 \alpha$, $I_2 = BK \sin^2 \alpha$;
or α croissant de 0° à 90° , I décroîtra de AK à 0 et I' croîtra de 0 à BK donc I et I' pourront passer par la même valeur ; pour une valeur donnée de α on aura :

$$I = I' = A K \cos^2 \alpha = B K \sin^2 \alpha$$

d'où :
$$\frac{A}{B} = \tan^2 \alpha$$

K représente le coefficient de perte de lumière par suite de réflexion, absorption.

Il suffira donc de connaître α d'où $\tan^2 \alpha$, pour obtenir le rapport des intensités de deux images A et B. Ce procédé suppose que ces images soient sur un même fond également éclairé. S'il n'en était pas ainsi la solution serait quelque peu différente comme nous le verrons.

Un second procédé également très simple permet de résoudre le problème. Deux images d'intensité différente perdront la même fraction de leur intensité par suite de la rotation du nicol, mais la plus faible

cessera d'être visible avant la plus forte. Soit a et b les intensités de deux lumières à comparer, soit i et i' respectivement les azimuts pour lesquels les images extraordinaires de a et b projetées sur un même fond commencent à paraître; les intensités seront alors $a \sin^2 i$ et $b \sin^2 i'$; par hypothèse ces deux quantités doivent être égales d'où :

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin^2 i'}{\sin^2 i}$$

On recherchera aussi les azimuts de disparition.

La troisième méthode est indirecte nécessitant plusieurs mesures. Soit à mesurer les intensités de deux images A et B placées sur un fond F. Soit α l'angle de disparition de l'image faible F' que l'on fait projeter sur l'image forte F'', on a donc :

$$F' = F \sin^2 \alpha; F'' = F \cos^2 \alpha \quad \text{d'où : } \frac{F'}{F''} = \tan^2 \alpha$$

Dans une deuxième expérience on détermine l'azimut i pour lequel la deuxième image $A \sin^2 i$ disparaît quand elle est projetée sur la portion du fond voisine de A, dont l'intensité est devenue $F \cos^2 i$; par la première expérience on connaît le rapport des intensités de la deuxième et du fond pour qu'elle disparaisse, ce rapport est $\tan^2 \alpha$;

$$\text{d'où : } \frac{A \sin^2 i}{F \cos^2 i} = \tan^2 \alpha \quad \frac{A}{F} = \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 i}$$

$$\text{De même : } \frac{B}{F} = \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 i'} \quad \text{d'où } \frac{A}{B} = \frac{\tan^2 i'}{\tan^2 i}$$

Ces trois méthodes ont été employées par Arago et sont très sensibles.

§ 8. **Autres méthodes.** — Au lieu d'observer visuellement on peut substituer à l'œil un récepteur plus sensible et plus constant. On peut utiliser des piles thermo-électriques, ou des récepteurs au sélénium basés sur la variation de conductibilité de ce corps sous l'influence de la lumière ; on le dispose au foyer d'une lentille.

Une autre méthode toute différente consisterait à placer entre l'ampoule et l'écran au point considéré un prisme d'aluminium et l'on déterminerait l'épaisseur pour obtenir la même intensité, que celle de l'objet de comparaison. On pourrait aussi déterminer l'épaisseur à interposer pour obtenir une opacité complète ; ou chercher la limite de visibilité des taches suivant la qualité des rayons employés.

Enfin si l'on ne veut ou ne peut réaliser l'égalité de teintes on peut s'inspirer de méthodes permettant d'en apprécier la différence ; c'est ainsi que l'on pourrait employer celles imaginées par Argelander ou Pickering.

Dans la première, le degré est la plus petite différence d'éclairement que l'œil puisse saisir.

Soit 2 plages a et b à comparer ; si au premier coup d'œil ces plages paraissent égales mais que par un examen attentif et un passage réitéré de a à b et de b à a on constate que a est supérieur à b on dit que a est de 1 degré supérieur à b et on écrit : $a1b$. Si malgré cette première expérience a apparaît cons-

tamment supérieur à b on évalue la différence à 2 degrés : $a2b$; une différence qui apparaît au premier coup d'œil vaut 3 degrés : $a3b$; $a4b$ est encore plus manifeste. Si on ne trouve jamais de différence : $a0b$.

Pickering emploie simultanément deux sources de comparaison a et b dont l'intensité comprend l'inconnue x ; on estime l'intensité en $\frac{1}{10}$ de l'intervalle ab ;

si par exemple x paraît au milieu de l'intervalle on a : $a5b$; si x est presque égal à a , on a : $a1b$; si x est presque égal à b , on a : $a9b$.

§ 9. Méthodes déjà employées en radiologie. — En radiologie des photomètres avaient déjà été employés mais dans un but tout différent. Imbert employait un prisme d'aluminium placé derrière l'écran pour déterminer le temps de pose.

Contremoulins, pour mesurer la pénétration et la quantité de rayons X, comparait l'intensité lumineuse de l'écran fluorescent à celle d'une source-étalon à l'acétylène avec interposition d'une cuve de sulfate de cuivre à 30/100. Derrière l'écran se trouvaient des disques d'argent d'épaisseur variable.

Courtade, dans le même but, s'est servi d'un étalon de radium ; Meslin d'une lampe étalon avec verres teintés.

Turchini a employé un photomètre de Foucault pour mesurer l'éclairement produit par le tube ; l'étalon était une ampoule de 45 bougies avec un système de verres teintés ; l'appareil sur un banc optique était mû par un système de cordes et de poulies.

Guilleminot se sert d'un fluoromètre, boîte à vision binoculaire dont le fond présente deux disques l'un l'écran fluorescent, l'autre au radium. Un ruban métrique permet de déterminer la distance à laquelle il faut se placer pour obtenir l'égalité des deux plages.

III. — PHYSIOLOGIE. — SENSIBILITÉ. — ERREURS

Les différentes vues n'apprécient pas avec la même approximation l'égalité de deux éclairéments. La sensibilité de la vue qui est le rapport de la valeur moyenne de deux éclairéments à leur différence varie avec les conditions de l'expérience ; elle est à peu près constante pour les éclairéments moyens, mais diminue quand la lumière devient plus faible.

Bouguer a constaté au moyen de son photomètre à ombres que si la distance d'une des sources est de huit fois supérieure à celle de l'autre, ce qui produit un éclairément soixante-quatre fois plus faible, l'ombre projetée ne se distingue plus. Les éclairéments de cette ombre et de la région voisine diffèrent alors de $\frac{1}{64}$; cette différence est la limite de sensibilité ; mais en imprimant à l'écran certains mouvements l'ombre devient visible et la limite reculée.

Arago se servant d'un appareil de polarisation constata qu'au repos l'image disparaissait lorsque son intensité était le $\frac{1}{39}$ de l'image principale ; en mou-

vement cette disparition n'avait lieu que pour $\frac{1}{58}$.

De cette remarque on en peut déduire qu'il y aurait intérêt à donner à l'écran fluorescent un certain mouvement oscillant pour y déceler de faibles taches ; un tel dispositif mécanique serait simple à réaliser : on augmenterait la visibilité des images et on diminuerait l'influence des grains de l'écran sur la netteté des images.

Lorsqu'on emploie un disque tournant on peut apprécier des différences de teinte de $\frac{1}{120}$ à $\frac{1}{160}$, mais il ne paraît pas possible de dépasser l'approximation de $\frac{1}{200}$.

Quand on règle l'éclairement par la variation de la distance R, une variation d'éclat [qui correspond au changement dR est : $\frac{dR^2}{R^2} = \frac{2dR}{R}$; la variation dR est proportionnelle à la distance R.

Dans les appareils à polarisation la variation relative est :

$$\frac{d \cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = - 2 \operatorname{tg} \alpha d\alpha$$

L'erreur $d\alpha$ doit-être alors d'autant plus faible que α est voisin de 90° . Pour $\alpha = 45^\circ$ une variation de $\frac{1}{200}$ correspond à une différence de lecture de $12'$.

Dans les lames absorbantes la variation relative

d'intensité est proportionnelle au changement dx de l'épaisseur, car on a :

$$\frac{d e^{-mx}}{e^{-mx}} = - m dx$$

Si la sensibilité relative de l'œil était constante la variation dS de la sensation serait proportionnelle à la variation $\frac{dE}{E}$ de l'éclat E des objets observés ; entre certaines limites cette loi est applicable : $dS = \frac{A dE}{E}$, d'où : $S - S_1 = A K \frac{E}{E_1}$, S_1 étant la sensation correspondante à l'éclat E_1 .

La sensation croît comme le logarithme de l'intensité (loi de Fechner).

Pour Henry la loi de Fechner doit être ainsi modifiée :

$$S = K \log \left(1 + \frac{i}{\mu} \right) \quad i \text{ étant l'intensité lumineuse.}$$

Le maximum de sensation n'étant pas infini, le coefficient A doit diminuer à mesure que l'éclairement E croît.

La différence d'éclat apparent s'exagère si la lumière est faible, diminue quand elle est intense.

Sensibilité de la rétine. — Les différentes parties de la rétine sont inégalement sensibles ; le lieu d'émergence du nerf optique ou papille porte le nom de punctum cæcum (Mariotte) ; la sensibilité est maxima à la tache jaune (pôle postérieur de l'œil) et va en diminuant en allant vers la partie antérieure ; au niveau de l'équateur elle est

cent cinquante fois plus faible qu'à la tache jaune. La vision directe se fait par la *fovea centralis* ; la vision indirecte par le reste de la rétine ; celle-ci très défectueuse sert surtout à l'orientation, la vision directe à la perception nette.

Depuis Mariotte on sait qu'une lumière très faible est mieux perçue en regardant obliquement que directement : cette remarque est bien connue des astronomes.

Les uns expliquent ce fait en admettant que les régions latérales de la rétine étant moins excitées que la partie centrale ont conservé une plus grande sensibilité. Mais cette explication est insuffisante et l'on doit surtout faire intervenir le rôle différent des cônes et des bâtonnets. Pour les classiques les bâtonnets servent à la perception de la lumière, les cônes à la vision des couleurs ; or il est plus exact d'admettre que les cônes ont surtout pour rôle l'acuité visuelle ; les bâtonnets la perception de la sensation lumineuse. Or la *fovea centralis* ne contient que des cônes, alors qu'en allant du centre à la périphérie de la rétine le nombre des bâtonnets augmente, d'où perception de lumière faible par vision oblique, mais sans netteté, l'acuité visuelle des bâtonnets variant du $\frac{1}{4}$ au $\frac{1}{10}$ de celles des cônes.

De même la position des deux taches n'est pas sans importance. Pour Roberts le maximum de sen-

sibilité serait quand les deux taches font un angle de 30° avec la verticale, vers la droite.

Les diverses parties de la rétine sont donc inégalement sensibles ; de plus la sensibilité de certaines parties est émoussée par un usage de trop vives lumières.

Enfin les variations de sensibilité sont encore beaucoup plus appréciables pour les couleurs. Pour Young et Helmholtz il existerait dans la rétine trois sortes de fibres sensibles au rouge, au vert ou au bleu ; la sensibilité relative de ces trois espèces de fibre varie d'un individu à l'autre. Mais cette théorie n'a aucun fondement anatomique et est en contradiction avec certains faits.

Lorsque deux sources égales sont de couleur différentes bleu et rouge par exemple, si l'on diminue dans la même proportion l'éclat de chacune, la rouge paraîtra moins brillante que la bleue. Ce phénomène a été décrit par Purkinje et montre la nécessité de comparer deux sources de même couleur.

Osthoff a constaté que la sensibilité pour une sensation colorée donnée constante varie avec l'âge de l'observateur et suivant des circonstances physiologiques de l'individu, telles que la position de l'œil, la fatigue. Ces variations seraient maxima pour le rouge et s'annulerait presque pour le blanc.

Enfin il peut exister une différence entre les deux yeux et on doit, pour éviter cette erreur personnelle,

regarder un photomètre successivement avec chaque œil.

Certains photomètres font intervenir l'acuité visuelle ; un point éclairé avec le minimum de lumière apparaît sous forme de tache diffuse ; c'est seulement avec un éclairement plus intense qu'on perçoit l'objet avec netteté et avec sa forme.

La perception visuelle nette correspond à la sensibilité visuelle. Le « minimum visuel » est la plus petite quantité de lumière qui doit éclairer deux points pour les rendre distincts l'un de l'autre.

Mais ce phénomène varie avec les conditions de l'expérience. Broca a montré que pour certains éclairages l'acuité visuelle est différente suivant qu'on opère avec des traits blancs sur fond noir ou bien avec des traits blancs sur fond moins lumineux ; dans ce cas si les éclairements des traits voisins sont dans le rapport $\frac{6}{10}$, l'acuité visuelle commence à décroître pour une intensité triple ou quadruple de celle pour laquelle elle décroît dans le cas précédent.

Un autre phénomène physiologique pouvant intervenir est celui de l'inertie rétinienne.

Si on augmente l'intensité d'une lumière très faible, il vient un moment où, pour un minimum donné, se produit la sensation lumineuse ; si on affaiblit alors lentement cette intensité on constate qu'elle est encore perçue bien qu'elle soit alors plus faible. On en conclut qu'il y a eu dans la production de la

sensation lumineuse perte de lumière et que la quantité perdue a été employée à l'excitation de l'appareil visuel, à vaincre son inertie ; cette inertie varie avec la longueur d'onde ; elle croît avec la longueur d'onde.

En somme, la rétine se comporte comme tous les appareils nerveux : un son qui diminue est mieux perçu qu'un son de même intensité qui augmente.

CHAPITRE III

Photométrie radiographique

§ 1. Définitions. — Les procédés déjà indiqués peuvent, outre la radioscopie, s'appliquer en radiographie. Il y a lieu de considérer 2 cas suivant que l'on opère sur des clichés sur verre ou des épreuves sur papier. Nous verrons ultérieurement les avantages et inconvénients qu'il y a à employer ces deux modes. Mais il est nécessaire de rappeler quelques définitions et lois de photométrie photographique.

Fizeau et Foucault avaient énoncé la loi de réciprocité d'après laquelle un même effet photographique serait obtenu en augmentant le temps de pose ou le flux lumineux dans un même rapport; ils avaient du reste signalé que cette loi n'est qu'approchée.

Un procédé basé sur cette loi serait simple à appliquer : pour comparer 2 flux lumineux il suffirait de les laisser agir sur une plaque pendant des temps différents et la valeur du rapport des 2 flux

serait l'inverse du rapport des temps de l'exposition pour obtenir sur la plaque une même opacité.

Mais cette loi n'est pas entièrement exacte et ne peut s'appliquer que pour des valeurs d'impression peu différentes ; elle est néanmoins commode par sa simplicité pour les recherches de moyenne précision et comme première approximation.

D'autres expérimentateurs ont recherché des lois plus exactes mais aussi plus compliquées.

L'action d'un flux lumineux peut se déduire de la quantité d'argent réduit qui se trouve dans la couche de gélatine. Il faut donc trouver la relation existant entre le flux lumineux qui a impressionné la plaque et cette quantité d'argent réduit. Deux procédés : l'un chimique consistant à dissoudre la gélatine et à peser le résidu d'argent ; ce procédé très délicat est peu pratique ; le deuxième procédé, physique, consiste à mesurer l'opacité du cliché au moyen de photomètres.

Par définition l'opacité d'une plage d'un cliché est la fraction de flux lumineux arrêtée par cette plage ; le noircissement ou densité est le logarithme vulgaire de l'opacité.

En comparant les résultats donnés par les mesures d'opacité aux poids d'argent réduit de la plage, on trouve que le logarithme de l'opacité est proportionnel à ce poids d'argent, c'est la même loi que celle de l'absorption ; il faut toutefois remarquer que cette loi n'est vérifiée qu'avec de la lumière diffuse.

Si l'on impressionne sur une plaque, avec une

durée de pose constante, une série de plages en faisant varier l'éclairement d'après une loi connue, que l'on mesure les noircissements, après développement, que l'on porte en abscisse les logarithmes des éclairéments, en ordonnées les noircissements, on obtient une courbe dont la forme générale est la même pour toutes sortes de plaques mais dont les dimensions varient avec l'émulsion, température, nature et durée du développement... ; mais le point où la tangente au point d'inflexion coupe l'axe des abscisses ne dépend que de la nature de l'émulsion ; le coefficient angulaire de la tangente au point d'inflexion dépend du développement.

Comme il s'agit de déduire des opacités de deux plages le rapport de deux éclairéments, on obtiendra une précision d'autant plus grande que les deux opacités considérées seront sur la courbe au voisinage du point d'inflexion dans la région dite d'exposition correcte. Là, une variation donnée de l'éclairement produit la plus grande variation du noircissement. On essaiera donc de prendre un temps de pose réalisant autant que possible cette condition ; on utilisera un révélateur donnant au coefficient angulaire de la tangente au point d'inflexion la plus grande valeur possible.

§ 2. Radiographies sur plaques. — Théoriquement les procédés décrits au précédent chapitre pourraient être utilisés ici mais leur rendement pourra être différent. Si en effet on compare une plage de l'écran radioscopique à une autre d'un cli-

ché examiné au négatoscope de grosses différences apparaissent immédiatement : outre l'inversion, ce sont surtout les qualités des deux lumières qui diffèrent et en particulier sa nature, son intensité et sa constance.

Avec un cliché, on n'a point à se préoccuper de cette première difficulté de la nature de la lumière ; on emploiera en effet pour éclairer le cliché et pour la source de comparaison deux sources identiques de lumière blanche par exemple ; d'où élimination d'une première cause d'erreur et par suite des spectrophotomètres et dispositifs nécessaires pour réaliser une source de longueur d'onde analogue à celle de l'écran radioscopique.

L'intensité de la lumière est le second facteur à considérer. A l'écran cette lumière est faible et ne peut varier que dans d'étroites limites. Au contraire avec un cliché la source l'éclairant sera beaucoup plus intense et l'on pourra rechercher quelle est l'intensité optima qu'il faudra employer : en principe, plus la source sera intense plus il y aura de contraste entre les deux plages d'où plus grande précision des mesures. De plus cette intensité permettra, sans erreur appréciable, d'opérer en chambre éclairée au lieu de chambre obscure.

Le troisième facteur intervenant est la constance de la source. A l'écran l'intensité d'une plage est essentiellement variable à chaque instant dépendant de plusieurs conditions dont la principale est la résistance du tube qui varie elle-même à tout

moment ; d'où une assez grande difficulté à faire, dans ces conditions, des mesures avec quelque précision. Au contraire, avec un cliché on emploiera une source d'une constance suffisante et dans les conditions que l'on désire.

Donc, des différents types d'appareils déjà décrits nous éliminerons ceux qui ont pour but de donner une source de comparaison de faible intensité tels que les sels phosphorescents.

La méthode consistant à apprécier la différence de teintes au lieu de leur égalité ne semble pas non plus devoir être employée ici, comme en radioscopie où la manipulation d'appareils est plus délicate.

Les appareils basés sur l'acuité visuelle tels que le lucimètre de Celsius seront ici sans utilité.

Les autres types d'appareils restent donc théoriquement susceptibles d'être employés avec quelques modifications ; ainsi on pourra utiliser le premier appareil décrit au chapitre II muni du dispositif direct, latéral ou de Touchet, avec ou sans lentilles ; les photomètres de Mascart, Bouguer, Rumford, Bunsen modifiés, les appareils à secteurs tournants, à polarisation ou à extinction pourront être essayés.

§ 3. **Autres appareils.** — En plus de ces principaux dispositifs on peut employer quelques autres types spécialement adaptés à l'étude photométrique des clichés et utilisés en astronomie, tout en tenant compte des différences fondamentales existant entre ces deux genres de recherches. En astrophotométrie on a surtout à étudier des plages

réduites à de très petites dimensions ; aussi négligeons-nous un certain nombre d'appareils pour ne nous occuper que de ceux susceptibles d'être utilisés ici.

En photométrie photographique on admet que deux causes sont égales, aucun autre facteur ne variant, lorsque les effets sont égaux, 2 éclairements sont égaux s'ils donnent avec des temps de pose égaux des noircissements égaux, dans les mêmes conditions de l'expérience ; la plaque photographique remplace donc l'écran du photomètre et on s'efforce par des modifications du flux de réaliser l'égalité d'éclairement ; mais cette égalité rigoureuse est très difficile à obtenir et nécessiterait de nombreux tâtonnements, aussi on procédera par interpolation du noircissement étudié entre deux noircissements connus, produits par des éclairements dans un rapport donné. Cette interpolation se fera au moyen de la courbe décrite plus haut, fonction des éclairements et des noircissements pour la plaque et le révélateur employés.

Dans ce but on utilisera une échelle de teintes, c'est-à-dire une plaque sur laquelle est impressionnée une série de plages résultant d'éclairements variables suivant une loi donnée ; on donne ordinairement à ces plages une forme de bandes espacées régulièrement ; entre ces bandes on intercale ensuite les plages données par la source à étudier ; ce procédé donne ainsi une plus grande précision,

évitant ainsi les inégalités de sensibilité de la plaque et du développement.

Cette échelle de teintes s'obtient au moyen de différents appareils dont quelques-uns ont déjà été étudiés ; Scheiner emploie un disque tournant à secteur évidé à bord denté donnant des ouvertures angulaires décroissantes du centre au bord ; mais il est difficile de déterminer avec précision les surfaces des plus faibles ouvertures.

King emploie une boîte à pénombre, dont une extrémité est fermée par la plaque ; à l'autre se trouve une glace opale recouverte d'un diaphragme triangulaire dont deux bords convexes sont des courbes convenablement choisies ; au milieu de la boîte un écran dont la hauteur est la moitié de la hauteur du diaphragme ; la plaque est ainsi éclairée par une surface du diaphragme qui varie d'un bord à l'autre de la plaque suivant une loi dépendant de la forme des courbes limitant le diaphragme.

Taylor emploie une batterie de cylindres parallèles dont un fond est fermé par la plaque ; à l'autre extrémité, chaque cylindre porte un diaphragme dont l'ouverture croît d'un cylindre à l'autre ; à chaque tube correspond ainsi une plage éclairée proportionnellement à l'ouverture du diaphragme.

J. Baillaud opère en plusieurs temps et prend la variation des distances comme loi donnant des éclaircissements déterminés.

Il fait usage d'un châssis où en contact avec la couche sensible se trouve une grille où les vides

égaux aux pleins ont 5 millimètres ; un système de volet mû par une manivelle déplace exactement le volet de l'intervalle de deux fentes de la grille ; on impressionne ainsi toutes les fentes successivement suivant la loi d'éclairement choisie ; d'où une série de bandes d'intensité graduée formant échelle de teintes.

La source à étudier impressionnera la série de bandes intercalées dans les premières, après avoir découvert un second volet dont les fentes ne laissent à découvert que ces bandes ; les plages à comparer sont contiguës, donc l'émulsion a même sensibilité et l'action du révélateur identique.

On pourra utiliser deux procédés. Premièrement, soit C_1, C_2 les bandes de l'échelle de teintes obtenue comme ci-dessus ; F, F_1 les espaces non impressionnés ; A et B les deux plages à comparer (fig. 12).

Une première pose en ne démasquant que la fente F donnera A et B_1 ; dans une seconde pose on démasque F_1 et on obtient les images A_1 et B_1 et ainsi de suite.

On trouvera par exemple que $A = C_1$ et $B_2 = C_3$, d'où :

$$K = \frac{A}{B_2} = \frac{C_1}{C_3}$$

Un gros inconvénient est d'être obligé de faire plusieurs poses assez longues ; 2° d'obtenir, en outre, pendant toute la durée de l'expérience la même qualité de rayonnement ; de plus il faudrait déjà

connaître assez approximativement le rapport cherché pour n'opérer que dans les limites de l'échelle de teintes, limites aussi serrées que possible. Aussi le procédé suivant est-il beaucoup plus simple ; sur une première plaque on impressionne une échelle de teintes ; on peut ainsi avoir toute une série de ces plaques donnant une grande latitude ; ces plaques développées laissent entre les bandes des espaces clairs ; il suffira alors sur une plaque d'impressionner les deux régions à étudier en les limitant à une plage rectangulaire de mêmes dimensions que les intervalles des bandes de l'échelle de teintes. Les opérations de développement terminées, on superposera dans un châssis les deux plaques, celle portant l'échelle de teintes et celle portant les plages à évaluer qui doivent se trouver dans l'intervalle des bandes ; il suffira de faire glisser ces deux plaques l'une sur l'autre pour obtenir les mêmes résultats que ci-dessus. .

La source servant à l'impression de l'échelle de teintes pourra être quelconque ; cependant il pourra y avoir intérêt de prendre un étalon donnant le même spectre que le tube radiogène. Les étalons ont été étudiés au chapitre II.

Parmi les photomètres propres à la détermination des noircissements des clichés, un des plus employés est le microphotomètre d'Hartman ; on compare une image de la tache à celle d'un coin photographique en les juxtaposant et en regardant avec un grossissement tel qu'on voit les grains de la couche ; on

déplace le coin jusqu'à ce que la contexture des deux plages soit la même ; mais cet appareil est particulièrement destiné à l'étude de très petites plages.

Fabry et Buisson, Chrétien, Baillaud ont décrit des appareils dérivant de celui d'Hartman comme ligne générale, mais ne reposant pas sur le même principe.

Celui de Baillaud un peu modifié (fig. 13) est ainsi constitué : un écran à contrastes de Lummer et Brodhun se trouve au croisement des axes de deux lentilles L_1 et L_2 , au foyer desquelles se trouvent respectivement la plaque et le coin absorbant de même teinte que cette plaque. Les plages non argentées de l'écran laissent passer directement le faisceau venant de la plaque ; les plages argentées réfléchissent les faisceaux venant du coin ; ces deux faisceaux réunis par une lentille viennent converger vers l'oculaire. En déplaçant le coin on réalise l'égalité des éclairéments produits par les faisceaux. La position du coin est donnée par un tambour. Ce coin est en gélatine colorée de même teinte que la plaque ; les épaisseurs de matière absorbante sont disposées de façon à varier proportionnellement au déplacement, or les épaisseurs de matière absorbante sont proportionnelles aux logarithmes des opacités, aux noircissements. Une même source éclaire la plaque et le coin.

§ 4. Radiographies sur papier. — L'emploi d'épreuves sur papier au lieu de clichés sur verre ne permet plus l'usage de plusieurs des instruments

décrits, la lumière éclairant les plages à étudier étant alors transmise par réflexion au lieu de l'être par transparence, ce qui rend l'utilisation de certains de ces appareils plus difficile et nécessite des modifications.

Les seuls appareils susceptibles d'être alors utilisés sont ceux qui fonctionnent par variation de l'intensité de la lumière réfléchie par la plage étudiée, ou même par extinction complète au moyen de prisme absorbant ou d'appareils de polarisation.

Mais l'utilisation d'épreuves sur papier par suite des manipulations photographiques supplémentaires comporte moins de précision que les mesures effectuées sur les clichés, aussi y a-t-il lieu de n'utiliser que des appareils simples, et parmi ceux-ci l'appareil de polarisation.

Il faut avoir soin d'utiliser comme écran où se forment les images un papier de même composition et de même grain que celui qui a servi au tirage des épreuves étudiées.

Le procédé à échelle de teintes est encore plus simple à employer ; on découpe les intervalles des bandes ; derrière cette grille on fait glisser l'épreuve à étudier jusqu'à ce que successivement chaque image à évaluer se soit trouvée près d'une bande d'égal noircissement. Ici encore on ne doit pas négliger les remarques faites sur la nature, grain et teinte du papier ayant servi à la confection de l'échelle de teintes, qui doit être le même que celui de l'épreuve.

§ 5. Avantages des méthodes radiographiques ou radioscopiques. — Les éléments de comparaison de ces différents modes opératoires sont d'une part la sensibilité des appareils et de l'autre les erreurs qui en résultent.

Il faut examiner la qualité et la quantité du flux lumineux. L'écran fluorescent émet des radiations comprises entre $\lambda = 0, \mu 52$ et $\lambda = 0 \mu, 58$ donc dans une région du spectre allant du jaune au violet ; le maximum de sensibilité de l'œil se trouve dans la région jaune verdâtre du spectre donc comprise dans ces limites ; pour les plaques la sensibilité maxima se trouve dans la région violette ; il ne paraît donc pas y avoir *a priori* une grande différence de sensibilité entre l'œil et la plaque.

Mais l'œil n'est impressionné que d'une façon pour ainsi dire instantanée ; si on examine au télescope une étoile très faible, l'œil étant bien accommodé, l'impression lumineuse sur la rétine ne dépend point du temps de l'observation ; il en est tout au contraire avec une plaque ; plus la pose sera longue, plus on obtiendra d'images d'étoiles de faible grandeur. Dans la couche sensible de la plaque se fait une sommation de l'excitation lumineuse qui ne se fait pas dans la rétine ; d'où un avantage en faveur de la plaque pour les faibles éclaircissements.

Au point de vue quantité de flux lumineux, si on compare d'une part, l'image peinte sur l'écran fluorescent à l'image de la plaque examinée au négatoscope, on peut obtenir par ce dernier procédé une

quantité de lumière telle qu'on la désire et beaucoup plus considérable ; or il est presque évident que la sensibilité lumineuse est d'autant plus grande que la différence d'intensité les deux plages est plus marquée ; ainsi avec un éclairage faible, deux plages dont les intensités diffèrent de $\frac{1}{10}$ ne sont pas distinguées, alors que dans des conditions favorables la limite se trouve reportée à $\frac{1}{170}$. La précision des mesures dépend donc de la plus ou moins grande intensité de la source éclairante qui donne ainsi un plus grand contraste.

L'acuité visuelle dépend de l'intensité de l'éclairement des images considérées ; elle diminue en même temps que cette intensité ; aussi comme l'a trouvé Bécclère l'acuité devant l'écran reste toujours inférieure à l'acuité à la lumière du jour.

De la diminution de l'acuité visuelle et de l'infériorité relative des images radioscopiques au point de vue netteté des contours et finesse des détails, il résulte qu'ici la radiographie sera supérieure à la radioscopie.

Enfin viennent en ligne de compte en faveur de la radiographie d'autres petits avantages : examen plus commode, pouvant se prolonger autant qu'on le désire, d'où facilité de répéter les mesures, étant certain que les conditions de l'expérience ne varient pas ; il est en effet plus facile d'avoir une source

constante éclairant un cliché que de maintenir constant le rayonnement du tube radiogène.

Par contre la radiographie expose à d'autres erreurs que la radioscopie et qui sont dues aux manipulations photographiques. D'abord l'influence du temps de pose ; s'il n'est pas correct, s'il y a sur ou sous-exposition non seulement l'intensité absolue des teintes est modifiée mais aussi leur intensité relative des unes par rapport aux autres. Le développement devra lui aussi être conduit dans des conditions convenables, sinon les mêmes erreurs se produiraient.

Les plaques n'ont point des propriétés constantes. L'opacité d'une plaque ayant reçu un éclairage donné dépend de l'épaisseur de la couche d'émulsion, du développement et du séchage.

Les plaques coulées sur verre ont une surface inégale, d'où inégalité d'épaisseur de la couche sensible, aussi dans les recherches photométriques précises emploie-t-on des plaques coulées sur glace.

Les bords des plaques présentent une sensibilité différente du centre ; si l'on impressionne une plaque par un éclairage uniforme, on trouve que le voile est plus clair suivant une bordure de 2 à 3 centimètres qu'au centre ; d'où nécessité de ne pas utiliser les régions marginales.

On doit employer un développement lent pour éviter les irrégularités du mouillage de la plaque dans le bain. Le séchage doit être rapide et régulier ; les régions longues à sécher peuvent avoir une teinte différente des autres régions.

Donc ces manipulations photographiques exposent à certaines erreurs qu'il est bon de bien connaître pour pouvoir les éviter.

Les épreuves sur papier sont plus faciles à manipuler que les clichés sur verre ; pour les examiner point n'est besoin d'un appareil spécial. On se servira de l'un ou de l'autre des procédés décrits en tenant compte des différences exposées plus haut. Ainsi si l'on emploie l'appareil d'Arago, le papier sera plus pratique car on pourra, au choix, se servir d'un écran blanc ou noir ; avec un cliché on ne peut utiliser qu'un écran noir à moins de compliquer l'appareil en se servant d'une source lumineuse supplémentaire placée devant le cliché.

Si l'on opère avec des grilles à échelle de teintes, le papier l'emporte encore par sa simplicité, une épreuve quelconque pouvant ainsi être examinée. Au contraire, si l'on examine un cliché, il aura dû être pris spécialement, d'après un rectangle des dimensions de l'intervalle comprenant les deux points à comparer ; le reste de la plaque n'aura pas été impressionné pour être d'une teinte uniforme et ne point donner lieu à une erreur lors de la superposition de la grille.

Au contraire les autres procédés photométriques seront plus facilement utilisés avec un cliché qu'avec une épreuve.

Mais le tirage sur papier n'est pas sans inconvénients et toutes ces nouvelles manipulations photographiques, tirage, développement, séchage sont

comme pour les plaques autant de nouvelles autres causes d'erreurs ; aussi plusieurs tirages seront nécessaires pour éliminer ces erreurs.

CHAPITRE IV

Expériences et résultats

§ 1. Instruments employés en radioscopie. — Dans ce dernier chapitre je vais donner un aperçu des méthodes employées, des instruments dont je me suis servi et des résultats obtenus. Les principales expériences reposent tant en radioscopie qu'en radiographie sur l'emploi du polarisateur, soit avec deux nicols, soit avec un spath et un nicol.

Néanmoins je dirai un mot d'autres procédés photométriques tels que celui de Bouguer. Un tube à l'extrémité duquel se trouve une petite ampoule électrique entretenue par une pile par l'intermédiaire d'un rhéostat, avec interposition entre l'œil d'une bonnette neutre et de feuilles de papier Virida réalise une surface éclairante de teinte semblable à celle de l'écran. Par la variation de longueur du tube on obtient une variation d'intensité; mais ce dispositif est mal commode par suite de l'allongement exagéré du tube qu'il faut réaliser.

La variation d'éclairage obtenue par des dia-

phragmes variables est d'une réalisation plus facile.

§ 2. Spectroscope. — Un spectroscope à vision directe a été utilisé soit directement, soit comme instrument de comparaison.

D'abord il a servi à déterminer l'étendue du spectre de l'écran fluorescent qui s'étend environ de $0, \mu 52$ à $0, \mu 58$, ce qui correspond à peu près à l'intervalle des raies D à b.

On a pu ainsi réaliser une source dont le spectre soit compris dans ces limites.

C'est ainsi que quatre épaisseurs de papier Virida (2 feuilles vertes et 2 jaunes) ne laissent passer que des radiations rouges n'atteignant pas la raie B avec une seconde partie comprise entre les longueurs d'onde $0, \mu 52$ à $0, \mu 62$; l'adjonction d'un verre neutre ne laissant passer que des radiations comprises entre $0, \mu 47$ et $0, \mu 60$ permet de réaliser une source suffisamment comparable à celle de l'écran fluorescent.

Le spectroscope peut s'employer directement; ainsi l'ombre d'un Benoist examinée au spectroscope est visible dans l'instrument, en faisant varier l'ouverture de la fente dont on connaît le degré par un tambour divisé; mais l'intensité ainsi observée est très faible par suite de l'absorption de lumière dans l'instrument et ce procédé ne paraît guère utilisable.

On peut aussi se servir de l'instrument comme source de comparaison; une ampoulé électrique éclaire des écrans colorés devant la fente; l'appareil

est tenu verticalement, une bonnette à prisme étant à l'oculaire. On obtient ainsi une plage analogue à celle de l'écran fluorescent ou des ombres qui s'y projettent ; par le réglage mesurable de la fente on obtient l'intensité cherchée ; mais ce dispositif est lourd et encombrant et il faudrait lui adjoindre un support, ce qui le compliquerait ; d'autres méthodes plus simples peuvent être employées,

§ 3. **Polarisateur.** — Les principes généraux de cette méthode ont été donnés au chapitre II. L'instrument peut s'employer soit avec un spath et un nicol, soit avec deux nicols et permet de faire trois sortes d'observations : par égalisation, par limite ou par comparaison.

Il se compose d'un tube de cuivre d'environ 9 centimètres de long et d'un diamètre intérieur de 25 millimètres ; à une des extrémités se trouve une bague dans laquelle est monté un spath devant la lentille servant d'objectif. Un trait repère placé sur la bague et correspondant à l'axe du cristal permet de placer le spath toujours dans la même position et dans le même sens. Le spath peut se placer indifféremment en avant ou en arrière de l'objectif ; cependant la largeur de la bande de l'image secondaire — ce que je nommerai la déviation — sera d'autant plus grande que le spath sera plus près de l'objectif ; pour la commodité de remplacement du spath par le nicol il est préférable de mettre le cristal en avant de l'objectif. Ce nicol est monté dans une bague analogue

à la précédente et la substitution de ces deux pièces se fait ainsi très facilement.

A l'autre extrémité du tube entre à frottement doux la pièce oculaire qui comprend un oculaire, un cercle divisé et un nicol mobile.

La partie optique comprend un oculaire négatif et entre ses verres un diaphragme rectangulaire dont le grand axe a pour mesure tout le champ donné par le système optique et dont le petit est environ moitié moindre.

Un réticule est formé d'un fil passant par l'axe du champ et parallèle au petit axe du diaphragme et d'un second fil formant une des diagonales du diaphragme.

Ce diaphragme est orienté de telle sorte que le petit fil du réticule soit dans l'axe des divisions 0° - 180° .

Entre l'œil et l'oculaire se trouve un nicol monté dans un tube tournant autour de l'axe optique de l'instrument ; un index fixé à ce tube se déplace en même que le nicol devant le cercle ; cet index correspond à l'axe du nicol.

Le cercle gradué mesure 5 centimètres de diamètre et est divisé en degrés. L'adjonction d'un vernier au $\frac{1}{10}$ donnerait à six minutes près. La longueur totale de l'instrument est, pour un tirage moyen des tubes, d'environ 14 centimètres ; il peut être facilement tenu à la main et se manœuvre très aisément.

Un instrument de plus grandes dimensions serait évidemment plus précis mais il serait alors néces-

saire de le faire supporter par un pied. Ainsi un cercle de 16 centimètres de diamètre divisé en $\frac{1}{2}$ degré avec un vernier au $\frac{1}{30}$ donnerait la minute ce qui est en rapport avec la limite de sensibilité que l'on peut attendre de la méthode.

Le reste de l'instrument sera modifié pour obtenir une précision concordant avec les données ci-dessus.

Au point de vue optique il y a intérêt à prendre un système qui donne le maximum de champ, aussi le grossissement nécessaire est-il faible, ce qui permet de diminuer le recul nécessaire pour que les deux plages à étudier soient dans le champ de la lunette et pas trop près du bord. Or le champ est sensiblement inversement proportionnel à la somme des distances focales de l'oculaire, de l'objectif et de la distance de l'image au foyer de l'objectif.

L'emploi de l'instrument est très simple mais néanmoins nécessite quelques réglages préalables.

Soit d'abord l'instrument à spath et à nicol (S.N.) ; il y a en premier lieu à considérer que la lunette donne des images renversées et que les objets à droite seront vus à gauche et réciproquement.

On commence par mettre au point soigneusement par un tirage convenable du tube oculaire. Puis on oriente l'instrument, c'est-à-dire que l'on met dans une position déterminée le spath, le nicol, le cercle et l'axe du réticule. Pour cela il est nécessaire de

choisir un sens que l'on adoptera pour obtenir un prompt réglage.

Il faut que la déviation de l'image sur l'écran, c'est-à-dire que la largeur de bande apparaissant soit maxima ; pour cela, on mettra d'abord le grand axe du losange du spath parallèle au petit fil du réticule, ce qui se fait facilement au moyen de repères tracés sur les tubes ; la déviation devra ainsi se faire parallèlement au grand axe du réticule.

Puis on mettra ce grand axe parallèle à une droite que l'on examine, si le spath est bien orienté, en tournant le nicol, cette droite ne doit pas se dédoubler et rester nette, la seule déviation se faisant suivant cette droite ; s'il n'en était pas ainsi on tournerait le spath par rapport à tout le système oculaire autour de l'axe de la lunette dans un sens ou dans l'autre pour obtenir que la ligne reste nette lorsqu'on tournera le nicol.

Le spath a été préalablement placé dans un sens déterminé, par exemple que lorsqu'on tourne le nicol, l'image de droite (dans le champ) croisse et celle de gauche décroisse, l'index se trouvant alors à l'extrémité supérieure du petit axe du réticule et se déplaçant de 0 à 90 degrés.

On a déjà une position approximative de l'origine de la graduation, la ligne 0-180 degrés doit se trouver dans un plan passant par l'axe de l'instrument, le grand axe des faces du spath et du nicol perpendiculaires à l'axe de l'instrument, le petit fil du réticule et l'extrémité de l'index.

Le cercle peut être débloqué de la partie fixe de l'instrument ; on examinera alors un objet mince et très brillant, par exemple un fil de lampe à incandescence ; la moindre rotation du nicol fait apparaître une image dans un sens ou dans l'autre ; lorsqu'on n'aperçoit qu'une image on fait alors tourner le cercle de façon à mettre le o en face de l'index, on bloque le cercle ; si le réglage est bien fait on verra la deuxième image du fil pour une même déviation angulaire alternativement dans chaque sens.

On peut aussi vérifier en tournant le nicol pour obtenir deux images égales d'un objet ; à ce moment l'index doit marquer 45 degrés.

Quel que soit le procédé employé, égalisation ou limite le dispositif reste le même. Soit deux plages d'une radiographie à comparer. On commence par placer une bande de papier formant écran entre les deux plages considérées ; cet écran pourra être blanc ou noir ; il devra être d'un papier analogue à celui de l'épreuve, présenter le même grain et le même degré de matité ou de brillance, ces conditions non remplies pouvant fausser le résultat. Puis on délimite par deux bandes supérieures et inférieures perpendiculaires à l'écran les plages à étudier ; il faut avoir soin que les plages aient sur toute leur étendue une même intensité.

On réalisera un éclairage aussi intense et uniforme que possible ; pour cela on pourra utiliser un miroir monté devant une forte lampe à incandescence pro-

jetant la lumière bien également sur toute la radio, et bien symétrique par rapport aux deux plages.

On aura recherché la distance convenable à laquelle on doit placer l'instrument pour que les deux plages soient dans le champ, non trop près du bord et en même temps placées symétriquement par rapport au petit fil du réticule ; cette dernière condition n'est pas à réaliser dans le procédé de la limite et c'est là un gros avantage, les deux plages étant alors examinées successivement et non simultanément.

Pour simplifier il est commode de mettre toujours du même côté l'image la plus intense aussi bien dans un procédé que dans l'autre, mais ceci n'est nullement obligatoire ; par le premier procédé (égalisation) on obtient d'une part des angles de 0° à 45° ou de 45° à 90° ; le rapport est alors inverse. Dans le deuxième procédé (limite) il suffit aussi de prendre le complément de l'angle suivant le côté considéré, comme nous le verrons ultérieurement.

Si, ainsi disposé, nous observons une plage A (fig 14) limitée sur son bord gauche par un écran E, nous avons dans la lunette les aspects suivants en tournant le nicol de 0° à 360° ; l'écran étant à gauche et l'image à droite nous verrons l'inverse dans la lunette ; si nous superposons le petit fil au bord séparant A de E, pour $\alpha = 0$, nous aurons l'aspect représenté sur la figure ; en tournant le nicol il apparaîtra pour un angle α une image sur l'écran qui croîtra alors que celle de gauche devrait décroître.

Si I est l'intensité de l'image primitive, l'intensité de l'image croissante sera $I \sin^2 \alpha$, celle de l'image décroissante serait : $I \cos^2 \alpha$; celle de droite continue à croître jusqu'à $\alpha = 90^\circ$ où elle est égale à l'image primitive ; puis celle de droite décroît ; celle de gauche devrait croître ; l'intensité de la première est : $I \cos^2 \alpha$; pour $\alpha = 180^\circ$ on obtient le même aspect que pour $\alpha = 0^\circ$; en continuant de 180° à 360° on aurait le même aspect.

Si la plage au lieu d'être à droite était à gauche nous aurions l'aspect de la figure 15.

On voit ainsi que dans la succession d'apparition ou disparition des images, il y a un décalage de 90° puisque pour la plage de droite il apparaît une image sur l'écran entre 0° et 90° alors que pour celle de gauche cela n'a lieu qu'entre 90° et 135° .

S. N. instrument de comparaison. — Mais le polarisateur avec spath et nicol peut servir d'une toute autre manière en réalisant un instrument de comparaison donnant une intensité variable et mesurable ; il est utilisable en radioscopie ou en radiographie sur plaque.

Pour ce faire, l'instrument est placé à l'extrémité d'un deuxième tube de cuivre d'environ 18 centimètres de long à l'intérieur duquel on a placé un diaphragme circulaire portant suivant un de ses diamètres une bande de papier d'environ 2 millimètres de large ; ce diaphragme est disposé de telle façon que le bord de cette bande soit parallèle au fil rectangulaire du réticule ; il sera à une profondeur

du tube telle que la mise au point puisse se faire. Derrière ce diaphragme se trouvent des écrans colorés et une ampoule électrique réalisant un éclairage convenable. Par la rotation du nicol on obtiendra de la bande deux images d'intensité connue et qui seront comparées à la plage à étudier visée de l'autre œil armé d'un simple tube parallèle au premier.

Le dispositif devra être de telle sorte qu'il ne dépasse pas 30 centimètres pour ne pas trop éloigner de la plage à étudier.

N. N. instrument de comparaison. — Dans le même but on peut remplacer le spatli par un nicol en enlevant le diaphragme précédent ; on obtient ainsi une plus grande plage de comparaison, une moindre longueur de tube puisqu'il n'est plus nécessaire de mettre au point sur le précédent diaphragme, tout en laissant une longueur de tube suffisante pour que le champ soit uniformément éclairé ; on obtient ainsi un instrument d'une longueur totale inférieure à 20 centimètres ; par contre l'emploi de 2 nicols est moins précis que d'un spatli et un nicol.

Emploi direct de N. N. — L'instrument à 2 nicols peut aussi s'employer avec des radiographies sur papier ; pour cela il suffit, avec l'instrument de viser d'un œil un écran blanc d'un grain analogue à celui de la plage et de l'autre œil cette plage avec un simple tube. Par la rotation on réalise l'égalité d'intensité.

On peut aussi faire le contraire : examiner avec le polarisateur la plage à étudier et l'amener à la

même teinte qu'un écran-étalon observé de l'autre œil à l'aide d'un simple tube.

On peut aussi se servir directement de N. N. en cherchant les angles de disparition des deux images ; mais cette méthode théorique ne donne que des résultats insuffisants.

§ 4. Application en radioscopie. — Avec ce dispositif il a été possible d'obtenir devant l'écran fluorescent les quelques résultats suivants, néanmoins suffisants pour montrer que cette méthode y est applicable.

Il faut avoir soin de se mettre à une distance convenable de l'écran pour obtenir tout le champ désiré, puis de mettre la lunette au point sur l'écran alors que la salle est encore éclairée, la mise au point sur l'écran fluorescent étant difficile ; il est bon de supprimer la glace de l'écran qui gêne la mise au point et est inutile comme protection à la distance où l'on observe.

Il faut prendre une lentille objective d'un diamètre suffisant pour obtenir une image suffisamment lumineuse, N. N. absorbant beaucoup de lumière.

Emploi de N. N. — Comme instrument de comparaison il a été employé comme ci-dessus décrit. Pour obtenir l'égalité de la plage fluorescente étudiée et de la plage de comparaison il fallait tourner le nicol de α . Un Benoist avait été pris comme objet ; on a trouvé par exemple que pour l'écran $\alpha = 20^\circ$; pour le disque d'argent $\alpha' = 10^\circ$; pour un secteur $\alpha'' = 2^\circ$.

L'extinction étant pour 0° l'intensité de l'ombre va en décroissant et on a les rapports suivants :

$$\frac{\text{disque}}{\text{écran}} = \frac{\cos^2 10}{\cos^2 20} = 1,10; \quad \frac{\text{secteur Al}}{\text{disque Ag}} = \frac{\cos^2 20}{\cos^2 10} = 1,03$$

Pour un poumon l'équivalence des différentes parties telles que base, sommet, hile, a donné les chiffres suivants :

$$\alpha_1 = 16^\circ \quad \alpha_2 = 14^\circ \quad \alpha_3 = 6^\circ$$

d'où :

$$\frac{\text{hile}}{\text{sommet}} = \frac{\cos^2 6}{\cos^2 14} = 1,05; \quad \frac{\text{sommet}}{\text{base}} = \frac{\cos^2 14}{\cos^2 16} = 1,02$$

Emploi de S. N. — En radiocopie le polarisateur à spath et nicol nous a donné les résultats suivants en employant toujours les plages données par un Benoist. Là les images des deux secteurs examinés pouvaient se projeter sur l'écran fluorescent et il n'a pas été nécessaire d'employer un écran intermédiaire. Ainsi par la méthode d'égalisation des deux images une première série d'expériences a donné :

$\alpha_1 - \alpha_3$	$\alpha_2 - \alpha_4$	$\alpha_m = \frac{(\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3)}{4} = 34^\circ$
56°	122°	$\alpha'_m = 90^\circ - 34^\circ = 56^\circ$
238°	304°	$K = \text{tg}^2 56^\circ = 2,20$
294°	426°	

Dans d'autres conditions d'expérience :

$\alpha_1 - \alpha_3$	$\alpha_2 - \alpha_4$	$A = 4\alpha_m = (\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3) = 164^\circ$
48°	130°	$K = \text{tg}^2 \frac{A'}{4} = 1,32$
228°	310°	

Ces exemples montrent que l'on est en droit d'attendre des résultats intéressants de cette méthode appliquée à l'examen du thorax, ce que je n'ai pu entreprendre.

Par les mêmes méthodes, mais bien plus aisément, on peut mesurer des clichés radiographiques ; des résultats semblables à ceux obtenus avec les épreuves seront trouvés.

§ 5. Méthode de l'égalisation (épreuves radiographiques). — Lorsqu'il s'agit de comparer des épreuves sur papier l'instrument le plus simple est le polarisateur à spath et nicol.

Soit d'abord le procédé de l'égalisation ou de la tangente.

Les deux plages A et B à comparer sont placées ainsi qu'il est dit plus haut, c'est-à-dire séparées par un écran blanc dont les deux bords sont parallèles entre eux et au petit axe du réticule et symétriques par rapport à ce fil. Les bords de l'écran central affleurent juste les deux plages ; cet écran aura les qualités données plus haut ; des écrans quelconques limiteront le champ des deux plages.

L'instrument étant réglé, pour $\alpha = 0$ on a à l'aspect de la figure 16.

En tournant le nicol dans le sens convenu, il apparaît sur l'écran une bande A' d'intensité croissante alors que la bande B' décroît. Pour $\alpha = \alpha_1$, la plage A' = B' ; or :

$$A' = A \sin^2 \alpha \quad B' = B \cos^2 \alpha \quad \text{d'où} : \frac{B}{A} = \operatorname{tg}^2 \alpha_1.$$

A' continue à croître, B' à décroître et pour $\alpha = 90^\circ$. B' disparaît et A' = A. Puis B' reparaît, A' décroît et de nouveau pour $\alpha = \alpha_2$, on a A' = B', or :

$$A' = A \cos^2 \alpha_2 \quad B' = B \sin^2 \alpha_2 \quad \text{d'où} \quad \frac{A}{B} = \operatorname{tg}^2 \alpha_2.$$

or α_2 étant dans le 2° quadrant on a : $\alpha_2 - 90 = 90 - \alpha_1$

d'où : $\alpha_1 = 180 - \alpha_2$.

Pour $\alpha = 180^\circ$ on a le même aspect que pour $\alpha = 0$.

Dans le 3° quadrant on a : $\alpha_3 - 180 = \alpha_1$.

Dans le 4° quadrant on a : $\alpha_4 - 270 = 90 - \alpha_1$ d'où :
 $\alpha_1 = 360 - \alpha_4$.

On a ainsi 4 chiffres dont un couple de chaque sens ;

Dans les quadrants 1 et 3 A' croît et B' décroît.

» » 2 et 4 A' décroît et B' croît.

On a donc ainsi un excellent moyen de contrôle permettant d'éliminer les erreurs dues à l'appréciation des teintes suivant que le phénomène se produit dans un sens ou dans l'autre.

Il est plus simple de mettre toujours du même côté la plage faible, par exemple à droite, on obtiendra ainsi toujours des angles supérieurs à 45° et $K > 1$ ce qui permet de n'avoir qu'une table comprise entre 45° et 90° ; sinon on devrait prendre le complément si $\alpha < 45^\circ$, ou bien on y remédiera en faisant tourner l'instrument de 180° autour de son axe, ou bien les photos.

Ayant obtenu les 4 angles $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, on les réduira au premier quadrant, puis on fera la moyenne et on aura un angle α_m auquel on appliquera la formule $K = \text{tg}^2 \alpha_m$; α_m est supposé $> 45^\circ$; sinon on prendrait le complément ; le rapport trouvé serait alors l'inverse puisque :

$$\text{tg}^2 \alpha = \frac{1}{\cot^2 \alpha} = \frac{1}{\text{tg}^2 (90 - \alpha)}$$

Il est plus simple d'opérer de la façon suivante :

soit α_m la valeur moyenne des 4 mesures réduites au premier quadrant ; on a :

$$\begin{aligned} 4\alpha_m &= \alpha_1 + 180 - \alpha_2 + \alpha_3 - 180 + 360 - \alpha_4 \\ &= 360 + (\alpha_1 + \alpha_3) - (\alpha_2 + \alpha_4) \end{aligned}$$

$$\text{d'où : } \alpha_m = 90 - \frac{(\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3)}{4}$$

$$\text{ou } \alpha'_m = \frac{(\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3)}{4}$$

On peut simplifier en posant $A = 4 \alpha_m$; on a ainsi :

$$A = 360 - [(\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3)] \quad \text{ou } A' = (\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3)$$

α varie de 45° à 90° donc : $180^\circ < A < 360^\circ$.

Il suffit donc de faire la différence des sommes des angles des secteurs pairs et des secteurs impairs et de chercher dans la table dans la colonne A ou A' suivant le cas (p. 106).

La table contient dans la première colonne la valeur α des angles de 45° à 90° ; dans la deuxième la valeur $\alpha' = (90 - \alpha)$ qui correspond à $K' = \frac{1}{K}$; dans la troisième la valeur de A ; dans la quatrième $A' < 180^\circ$; les colonnes 2 et 4 doivent se lire de bas en haut ; dans la cinquième : K ; dans la dernière dK différence entre deux valeurs consécutives de K.

Un autre avantage de la formule de réduction est que l'on n'a pas à tenir compte de l'erreur de collimation.

Si en effet le 0 de la graduation ne correspond pas au 0 optique (S et N. croisés) le 0 sera par exemple en A au lieu d'être en A'. Soit $AA' = d$; lors

qu'on fera une lecture, on lira un angle α' alors que l'angle de déviation est $\alpha = \alpha' + d$ (fig. 17).

Si le o se trouvait en A_1 au lieu de A' et si $A_1 A' = d'$ l'angle vrai de déviation est : $\alpha = \alpha' - d$ ou d'une façon générale :

$$\alpha = \alpha' \pm d$$

Dans le 1^{er} quadrand on : $\alpha_1 = \alpha'_1 \pm d$

$$2^{\circ} \quad \gg \quad \alpha_2 = \alpha'_2 \pm d$$

$$3^{\circ} \quad \gg \quad \alpha_3 = \alpha'_3 \pm d$$

$$4^{\circ} \quad \gg \quad \underline{\alpha_4 = \alpha'_4 \pm d}$$

$$\begin{aligned} (\alpha_2 + \alpha_4) - (\alpha_1 + \alpha_3) &= \alpha'_2 \pm d + \alpha'_4 \pm d - [\alpha'_1 \pm d + \alpha'_3 \pm d] \\ &= (\alpha'_2 + \alpha'_4) - (\alpha'_1 + \alpha'_3) \end{aligned}$$

On voit que le résultat est indépendant de la position du o de la graduation.

Erreurs. — La valeur de K est donné par la formule :

$$K = \operatorname{tg}^2 \alpha$$

La limite supérieure de la valeur absolue de l'erreur est :

$$\Delta K \equiv \Delta \operatorname{tg}^2 \alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha \Delta \operatorname{tg} \alpha = 2 \operatorname{tg} \alpha \frac{\Delta \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

où $\Delta \alpha$ est exprimé en radians ; en degrés on a :

$$\begin{aligned} \Delta K &= \frac{2 \pi}{180} \Delta \alpha \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha} = \frac{35}{1.000} \Delta \alpha \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha} \\ &= \frac{35}{1.000} \Delta \alpha \operatorname{tg} \alpha (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha) \end{aligned}$$

Ainsi si $\alpha = 58$ degrés est mesuré avec une erreur de 15', la limite de l'erreur absolue sera :

$$E < \frac{35}{1.000} \times \frac{1}{4} \times 2 \times 4 = \frac{7}{100} \quad (\text{on force les chiffres})$$

or $\operatorname{tg}^2 58^\circ = 2,561$ donc K compris entre 2,49 et 2,63.

L'erreur varie de 0 à ∞ ; elle augmente peu de 0 à 45° degrés puis très rapidement de 45° à 90° degrés.

Si E_α est l'erreur absolue, l'erreur relative est :

$$E_r = \frac{E_\alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha} = 2 \Delta \alpha \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha} \times \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2 \Delta \alpha}{\operatorname{tg} \alpha \cos^2 \alpha} = \frac{4 \Delta \alpha}{\sin 2\alpha}$$

Ainsi si la lecture est faite à 6' près l'erreur est :

$$E_r = \frac{7}{1.000} \operatorname{cosec} 2\alpha.$$

L'erreur relative est ∞ pour $\alpha = 0^\circ$ et $\alpha = 90^\circ$; elle est minima pour $\alpha = 45^\circ$ et varie peu dans les environs de 45° .

Avec une lecture à 6 minutes près, pour $\alpha = 45^\circ$ l'erreur est inférieure à $\frac{7}{1.000}$; on peut donc compter sur 2 chiffres exacts.

On peut chercher l'angle limite pour lequel

$$E_r < \frac{1}{100}; \text{ on a :}$$

$$\frac{7}{1.000 \sin 2\alpha} \leq \frac{100}{1.000} \text{ d'où } \sin 2\alpha \geq \frac{7}{10} \text{ et } \alpha \geq 22^\circ 10'$$

Donc de $22^\circ 10'$ à $67^\circ 10'$, $E_r \leq \frac{1}{100}$ avec une lecture à 6' près.

D'autre part nous avons vu au chapitre II que la limite de sensibilité de l'œil pour ce genre d'observation est comprise entre $\frac{1}{60}$ et $\frac{1}{120}$. L'erreur totale est $\Sigma = E_\alpha + E_\alpha$.

On a ainsi pour l'exemple précédent dans les conditions les moins favorables pour $\alpha = 58^\circ$ lu à 15' près :

$$\Sigma = \frac{6}{100} + \frac{1}{60} < \frac{8}{100}$$

d'où K compris entre 2,48 et 2,64.

Si dans ces conditions on veut avoir $\Sigma < \frac{2}{100}$, il faut prendre :

$$E_\alpha = \Sigma - E_1 = \frac{2}{100} - \frac{1,7}{100} = \frac{3}{1.000}$$

d'où $E_\alpha < \frac{3}{1.000}$; or avec une approximation de 15'

$$E_\alpha = \frac{6}{100}, \text{ donc :}$$

$$\frac{E'_\alpha}{E_\alpha} = \frac{3}{1.000} \times \frac{100}{6} = \frac{1}{20} ;$$

$$\text{pour } E_\alpha, \Delta \alpha = 15', \text{ donc } \Delta' \alpha = \frac{15}{20} = \frac{3}{4}$$

Donc avec une sensibilité de l'œil de $\frac{1}{60}$ ce qui a lieu dans les conditions les plus mauvaises, pour obtenir une erreur inférieure à $\frac{2}{100}$, pour un angle voisin de 60 degrés il faut une précision de lecture un peu supérieure à la minute.

Influence de l'écran. — Jusq'ici nous avons négligé l'influence de la teinte de l'écran, ce qui simplifiait la question. Supposons 2 plages d'intensité I et I', et E celle de l'écran. Ces intensités ne sont point celles de l'épreuve mais celles des images don-

nées par la lunette et le polariseur, avant l'analyseur.

Considérons d'abord la plage de droite (image à gauche dans la lunette et écran à droite), tournant dans le sens convenu le nicol (fig. 18), il apparaît sur l'écran en 1 une image d'intensité : $I \sin^2 x$; mais en 1 l'intensité de l'écran diminue et n'est plus que ; $E \cos^2 x$, d'où intensité résultante :

$$R = I \sin^2 x + E \cos^2 x.$$

Par contre en 2 l'intensité est devenue $I \cos^2 x$, mais il s'y projette une image venue de 3 qui est $I \sin^2 x$, d'où en 2 :

$$\rho = I \cos^2 x + I \sin^2 x = I$$

Pour la plage de gauche (image à droite), en tournant dans le même sens que précédemment en 2' l'image décroît et il vient s'y projeter l'image de l'écran d'où :

$$R_1 = E \sin^2 \gamma + I_1 \cos^2 \gamma$$

en 1' l'intensité est $E \cos^2 \gamma$ mais il s'y projette l'image de la zone 3' : $E \sin^2 \gamma$ d'où :

$$\rho_1 = E \sin^2 \gamma + E \cos^2 \gamma = E$$

Donc pour le premier quadrant, il apparaît sur l'écran contre l'image de droite une image d'intensité $R = I \sin^2 x + E \cos^2 x$ et la partie de l'image bordant l'écran reste constante. Pour la plage de gauche, la partie de l'image bordant l'écran devient :

$R_1 = I_1 \cos^2 \gamma + E \sin^2 \gamma$, alors que la partie contiguë de l'écran reste constante.

Dans le deuxième quadrant on obtient les effets complémentaires comme nous l'avons vu ; il n'y a du reste qu'à employer la formule de réduction au premier quadrant.

Si on suppose que $R = R_1$ pour un angle $\alpha = x = \gamma$, on a :

$$I \sin^2 \alpha + E \cos^2 \alpha = E \sin^2 \alpha + I' \cos^2 \alpha$$

$$\frac{I' - E}{I - E} = \operatorname{tg}^2 \alpha \quad (1)$$

Si $E = 0$ on obtient l'équation adoptée jusqu'alors : $\frac{I'}{I} = \operatorname{tg}^2 \alpha$; mais de (1) on ne peut tirer le rapport $\frac{I'}{I}$ connaissant E .

Méthode des tangentes en deux temps. — Lorsqu'on ne peut comparer directement les deux plages, on peut procéder ainsi :

dans un 1^{er} temps on compare I à E d'où $\frac{I}{E} = \operatorname{tg}^2 \alpha$; dans un 2^d, I' à E , d'où : $\frac{I'}{E} = \operatorname{tg}^2 \alpha'$ et finalement $\frac{I}{I'} = \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha'}$. Ce procédé est surtout applicable lorsque les deux plages sont trop éloignées et le champ de l'instrument trop petit.

§ 6. *Méthode des limites ou des sinus.* — Cette méthode consiste à déterminer l'angle pour lequel commence à apparaître ou à disparaître l'image sur l'écran ; il s'agit de déterminer cette limite de visibilité. La disposition de l'instrument et de l'épreuve

est analogue à la précédente, on peut employer un écran central blanc ou noir.

Considérons une plage à droite ; pour un angle α_1 , il apparaît une image sur l'écran, puis pour β_1 , cette image cesse de croître ; α_1 et β_1 sont dans le premier quadrant ; puis cette image commence à décroître pour β_2 , puis pour α_2 cesse d'être visible sur l'écran. Les mêmes phénomènes se produiront dans les quadrants 3 et 4.

On obtient ainsi deux séries d'angles α_1 et β_1 après réduction par la formule générale de $\alpha_2 - \alpha_3 - \alpha_4$, $\beta_2 - \beta_3 - \beta_4$.

Pour la plage de gauche l'image commence à décroître pour un angle α_1 puis pour β_1 elle cesse d'être visible ; pour β_2 elle réapparaît et cesse de croître pour α_2 .

Si A et D désignent l'apparition ou la disparition de l'image sur l'écran, A_1 , l'angle pour lequel l'image commence à décroître, D_1 pour lequel elle cesse de croître on a : ($\alpha_1 < \beta_1$)

pour la plage de droite :

$$A = \alpha_1 \quad D_1 = \beta_1 \quad A_1 = \beta_2 \quad D = \alpha_2$$

pour la plage de gauche :

$$A_1 = \alpha_1 \quad D = \beta_1 \quad A = \beta_2 \quad D_1 = \alpha_2$$

L'ordre des phénomènes est décalé de 90 degrés entre les plages de droite et de gauche.

On pourra affecter d'un accent les lettres A, A_1 ... lorsqu'il s'agit de la plage la plus faible.

Nous avons vu que l'intensité des deux images droite et gauche était :

$$R = I \sin^2 \alpha + E \cos^2 \alpha \quad R_1 = I_1 \cos^2 \gamma + E \sin^2 \gamma$$

Déterminons successivement les angles α et γ de façon à ce qu'ils correspondent à la limite de visibilité des images sur l'écran, ou bien à la limite d'accroissement d'intensité de ces images, on a alors $R = R_1$.

$$I \sin^2 \alpha + E \cos^2 \alpha = I_1 \cos^2 \gamma + E \sin^2 \gamma$$

d'où l'on tire :

$$I \sin^2 \alpha - I_1 \cos^2 \gamma = E \sin (\alpha + \gamma) \sin (\alpha - \gamma);$$

si l'on prend pour intensité nulle celle de l'écran, on a :

$$I \sin^2 \alpha = I_1 \cos^2 \gamma$$

$$\text{d'où :} \quad \frac{I_1}{I} = \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \gamma} = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 (90 - \gamma)}$$

Le rapport des intensités est égal au rapport des carrés des sinus de l'angle pour la plage de droite et du complément de l'angle pour la plage de gauche.

Soit L ce rapport des intensités pour la limite de visibilité (si $I < I'$) :

$$\text{I à droite :} \quad L = \frac{I'}{I} = \frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \beta'} = \frac{\sin^2 A}{\sin^2 (90 - D')}$$

$$\text{I à gauche :} \quad L' = \frac{I'}{I} = \frac{\cos^2 \beta}{\sin^2 \alpha'} = \frac{\sin^2 (90 - D)}{\sin^2 A'}$$

De même si M est le rapport obtenu en considérant la limite des accroissements on a :

$$\text{I à droite :} \quad M = \frac{I'}{I} = \frac{\sin^2 \beta}{\cos^2 \alpha'} = \frac{\sin^2 D_1}{\sin^2 (90 - A'_1)}$$

$$\text{I à gauche :} \quad M' = \frac{I'}{I} = \frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \beta'} = \frac{\sin^2 (90 - A_1)}{\sin^2 D'_1}$$

Si on emploie un écran noir on aura des rapports

analogues : L_1 pour la limite de visibilité, M_1 pour la limite d'accroissement ; A_2 et D_2 pour l'apparition ou la disparition de l'image sur l'écran ; A_3 et D_3 pour la limite d'accroissement ou de décroissance :

$$\begin{aligned} \text{d'où : } L_1 &= \frac{\sin^2 A_2}{\sin^2 (90 - D'_2)} \quad \text{ou} \quad \frac{\sin^2 (90 - D_2)}{\sin^2 A'_2} \\ M_1 &= \frac{\sin^2 D_3}{\sin^2 (90 - A'_3)} \quad \text{ou} \quad \frac{\sin^2 (90 - A_3)}{\sin^2 D'_3} \end{aligned}$$

Si K et K_1 sont les rapports obtenus par la méthode d'égalisation respectivement avec l'écran noir ou blanc, on a ainsi deux groupes de valeurs $K - L - M$, $K_1 - L_1 - M_1$; mais si on doit avoir $K = L = M$, $K_1 = L_1 = M_1$, les deux séries ne peuvent être comparables ensemble, les deux bases étant dissemblables. On emploiera l'une ou l'autre suivant les circonstances.

On doit avoir comme moyen de vérification :

$$A - D' + D_1 - A'_1 = 0 \quad \text{ou} \quad A' - D + D'_1 - A_1 = 0$$

Erreurs : La formule est de la forme $L = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}$

La limite supérieure de l'erreur absolue est :

$$dL = d \left(\frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} \right) = \frac{2 \sin^2 \beta \sin \alpha \cos \alpha d\alpha - 2 \sin^2 \alpha \sin \beta \cos \beta d\beta}{\sin^4 \beta}$$

Les erreurs de lecture peuvent être de même sens ou de sens inverse, d'où : $d\alpha = \pm d\beta$,

$$dL = \frac{2 \sin \alpha d\alpha}{\sin^3 \beta} (\sin \beta \cos \alpha \mp \sin \alpha \cos \beta)$$

Si $d\alpha$ est exprimé en degrés, on a en valeur absolue :

$$dL = \frac{35}{1.000} \frac{\sin \alpha \sin (\alpha \pm \beta)}{\sin^3 \beta} d\alpha$$

$$\begin{aligned} \text{On aura } \alpha + \beta \text{ si } d\alpha = -d\beta \\ \alpha - \beta \quad d\alpha = +d\beta \end{aligned}$$

Par exemple $L = \frac{\sin^3 30}{\sin^2 25}$ à $\frac{1^\circ}{2}$ près, l'erreur maxima sera : $\frac{9}{100}$

L'erreur relative est :

$$\begin{aligned} E_r = \frac{dL}{L} &= \frac{2 \sin \alpha \sin (\alpha \pm \beta) d\alpha}{\sin^3 \beta} \times \frac{\sin^2 \beta}{\sin^2 \alpha} = \frac{2 \sin (\alpha \pm \beta) d\alpha}{\sin \alpha \sin \beta} \\ &= 2 (\cotg \beta \pm \cotg \alpha) d\alpha \end{aligned}$$

Si $d\alpha$ exprimé en degrés :

$$E_r = \frac{35}{1.000} (\cotg \beta \pm \cotg \alpha) d\alpha$$

L'erreur croît en valeur absolue d'autant moins que l'angle est voisin de 90° .

Soit $L = \frac{\sin^2 60}{\sin^2 30}$ mesuré à $\frac{1^\circ}{2}$ près, on aura $E_r = \frac{2}{100}$

si les erreurs sont de même sens et $\frac{4}{100}$ si elles sont de sens contraire.

Comparaison des erreurs sur K et L. — On peut rechercher, à ce point de vue quelle méthode, celle des égalisations ou des limites donne les meilleurs résultats :

Par hypothèse : $K = L = \tg^2 \gamma = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}$ et $\Delta \alpha \pm \Delta \gamma$; on cherche

si le rapport $\frac{\Delta K}{\Delta L} \leq 1$:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta K}{\Delta L} &= 2 \Delta \gamma \tg \gamma (1 + \tg^2 \gamma) \times \frac{\sin^2 \beta}{2 \Delta \alpha \sin \alpha \sin (\alpha \pm \beta)} \\ &= \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \left[1 + \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} \right] \frac{\sin^2 \beta}{\sin \alpha \sin (\alpha \pm \beta)} = \frac{\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta}{\sin (\alpha \pm \beta)} \end{aligned}$$

Supposons $\Delta \alpha = -\Delta \beta$ d'où $\sin(\alpha + \beta)$

Soit $x = \frac{\alpha + \beta}{2}$ $\gamma = \frac{\alpha - \beta}{2}$ d'où $\alpha = x + \gamma$; $\beta = x - \gamma$

d'où: $\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta = 2 \sin^2 x \cos^2 \gamma + 2 \cos^2 x \sin^2 \gamma$

$$\sin(\alpha + \beta) = 2 \sin x \cos x$$

Supposons $\Delta K \geq \Delta L$:

$$2 \sin^2 x \cos^2 \gamma + 2 \cos^2 x \sin^2 \gamma - 2 \sin x \cos x \geq 0$$

$$\sin x (\sin x - \cos x) - \sin^2 \gamma (\sin^2 x - \cos^2 x) > 0$$

$$(\sin x - \cos x) [\sin x - \sin^2 \gamma (\sin x + \cos x)] > 0 \quad (A)$$

Il faut étudier le sens de :

$$\sin x - \cos x > 0 \text{ ou } \operatorname{tg} x > 1 \text{ ou } \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} > 1 \quad (B)$$

et de: $\sin x - \sin^2 \gamma (\sin x + \cos x) > 0$

$$\sin x (1 - \sin^2 \gamma) - \sin^2 \gamma \cos x > 0$$

$$\operatorname{tg} x > \operatorname{tg}^2 \gamma \text{ ou } \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha - \beta}{2} \quad (C)$$

Pour que $\Delta K > \Delta L$ il faut:

$$a) \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2} > 1 \text{ et } \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2} > \operatorname{tg}^2 \frac{(\alpha - \beta)}{2}$$

$$\text{ou } b) \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2} < 1 \text{ et } \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2} < \operatorname{tg}^2 \frac{(\alpha - \beta)}{2}$$

$$\text{or } \frac{\alpha}{2} < \frac{\pi}{4}, \frac{\beta}{2} < \frac{\pi}{4} \text{ donc } \frac{\alpha + \beta}{2} < \frac{\pi}{2} \text{ et } \frac{\alpha - \beta}{2} < \frac{\pi}{4}$$

Donc $\operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} < 1$; or le carré d'un nombre < 1 est inférieur à ce nombre :

$$\operatorname{tg}^2 \frac{(\alpha - \beta)}{2} < \operatorname{tg} \frac{(\alpha - \beta)}{2}$$

$$\text{or } \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} < \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} \text{ puisque } \frac{\alpha + \beta}{2} < \frac{\pi}{2}$$

$$\text{d'où: } \operatorname{tg}^2 \frac{(\alpha - \beta)}{2} < \operatorname{tg} \frac{(\alpha - \beta)}{2} < \operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2}$$

L'inégalité C est donc toujours satisfaite $C > 0$

D'autre part on a B: $\operatorname{tg} \frac{(\alpha + \beta)}{2} > 1$ d'où $\frac{\alpha + \beta}{2} > \frac{\pi}{4}$

Donc: a) si $\frac{\pi}{4} < \frac{\alpha + \beta}{2} < \frac{\pi}{2}$ $A > 0$ et $\Delta K > \Delta L$

$$b) \text{ si } 0 < \frac{\alpha + \beta}{2} < \frac{\pi}{4} \quad A < 0 \quad \text{et} \quad \Delta K < \Delta L$$

Si la $\frac{1}{2}$ somme des angles $< 45^\circ$ il faut mieux employer

la formule $K = \operatorname{tg}^2 \gamma$; si cette $\frac{1}{2}$ somme $> 45^\circ$ la formule

$$L = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}$$

Si au lieu d'être de sens inverse, les erreurs sont de même sens, on a : $\Delta \alpha = \Delta \beta$ et en supposant $\Delta K > \Delta L$:

$$\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta > \sin^2 (\alpha - \beta)$$

Il suffit de changer $+\beta$ en $-\beta$ et on a :

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} > 1 \quad (B') \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \beta}{2}$$

Pour $\Delta K > \Delta L_1$ il faut :

$$a') \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} > 1 \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$$\text{ou } b') \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} < 1 \quad \text{et} \quad \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} > \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \beta}{2}$$

On a toujours $\frac{\alpha - \beta}{2} < \frac{\pi}{4}$ donc $\operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} < 1$ et $B' < 0$

1°) d'autre part soit $\frac{\alpha + \beta}{2} > \frac{\pi}{4}$ d'où $\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \beta}{2} > \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2}$

Donc : $\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha + \beta}{2} > \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} > \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2}$ donc $C' < 0$ d'où

$$A' > 0 : \Delta K > \Delta L_1$$

On a du reste $\Delta L_1 < \Delta L$, $\Delta L < \Delta K$ d'où $\Delta L_1 < \Delta K$

2°) Si $\frac{\alpha + \beta}{2} < \frac{\pi}{4}$ on a $B' < 0$ et $C' \leq 0$ et 2 solutions :

$$\Delta K \leq \Delta L_1$$

Donc si la $\frac{1}{2}$ somme des angles $> 45^\circ$ que les erreurs de lecture soient de même sens ou non la formule $L = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}$ est préférable ; si cette $\frac{1}{2}$ somme

$< 45^\circ$ la formule $K = tg^2 \gamma$ est toujours préférable si les erreurs sont de sens inverse et dans une certaine limite si les erreurs sont de même sens.

Calculs graphiques. — La valeur du rapport cherché est donnée par la formule :

$$L = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta}$$

On peut obtenir ces valeurs de L graphiquement.

Soit 2 axes rectangulaires (fig. 19), construisons la courbe $\gamma = \sin^2 x$, puis prenons comme abscisse ox , comme ordonnée oy et construisons la courbe : $x = \sin^2 \gamma$; ces 2 courbes sont symétriques par rapport à la bissectrice de xoy . Soit M et M' 2 points de chaque courbe.

Nous avons : $M'P' = \sin^2 x$; $MP = \sin^2 \gamma$.

Si de M on abaisse la perpendiculaire MM_1 et de M' la perpendiculaire $M'M'_1$ à MM_1 on a :

$$OM_1 = MP = \sin^2 \gamma ; M_1M'_1 = M'P' = \sin^2 x.$$

Dans le triangle rectangle on a :

$$\frac{OM_1}{M_1M'_1} = \frac{\sin^2 \gamma}{\sin^2 x} = \cotg \rho$$

Donc sur oy gradué de 0 à 90° on prend la valeur γ , on élève la perpendiculaire qui coupe la courbe t en M , de M on abaisse la perpendiculaire à ox qui rencontre en M'_1 la parallèle à ox menée par M' point de la courbe qui a pour abscisse x ($x < \gamma$), OM'_1 détermine l'angle $xoM'_1 = \rho$. Il suffit de mener par o des droites faisant avec ox les angles donnés et d'inscrire à leur extrémité la valeur des cotangentes de ces angles qui sera la valeur de L . Pour construire ces

courbes il suffit de calculer un nombre relativement restreint des valeurs $\sin^2 x$, de 0 à 45° , la courbe étant symétrique par rapport au point 45° .

Un autre procédé plus précis consiste à porter sur 2 axes rectangulaires ox et oy les valeurs de $\sin^2 x$ de 2° en 2° , par exemple de 0 à 90° (il suffit de ne calculer ces valeurs que de 0 à 45°).

Par ces points on élève des perpendiculaires aux axes, puis on divise xoz en angles de $2^\circ \frac{1}{2}$ par exemple, ce qui s'obtient facilement graphiquement ; en face on inscrit les valeurs des cotangentes : 1 — 1,09 — 1,19... ; dans la colonne suivante on met les différences entre deux nombres consécutifs pour faciliter l'interpolation (fig. 21).

Pour se servir du graphique, il suffit de prendre sur ox la valeur de l'angle x ($x > y$) de suivre la perpendiculaire passant en ce point jusqu'à son intersection avec la perpendiculaire à oy passant par la valeur de y . L'intersection de ces deux droites donne un point du plan situé dans l'intervalle des deux rayons. Par interpolation on obtient la valeur L cherchée.

Ce même graphique donne aussi les valeurs $K = \operatorname{tg}^2 \alpha$, $N = \frac{\cos^2 \beta}{\cos^2 \beta'}$, $M = \frac{\sin^2 \gamma}{\cos^2 \gamma'}$; ainsi pour K on prendra sur ox : α et sur oy : $90 - \alpha$ (si $\alpha > 45^\circ$) pour N on prendra sur ox ($90 - \beta$) et sur oy : ($90 - \beta'$)

Ainsi avec l'échelle adoptée, on peut obtenir dans

les régions moyennes une précision de $\frac{4}{100}$; pour les angles inférieurs à 15° la précision est bien moindre.

On peut réduire les dimensions du graphique en supposant un rabattement autour de l'axe médian perpendiculaire à ox , puis autour de l'axe médian perpendiculaire à oy (fig. 22) ; le graphique parait un peu plus compliqué ; soit $x > y$:

1° Si x et $y < 45^\circ$, on lit L dans la colonne de droite sur les traits divergents vers la droite ;

2° $x > 45^\circ$ et $y < 45^\circ$, on lit L dans la colonne de droite mais sur les traits divergents vers la gauche ;

3° x et $y > 45^\circ$, on lit L' dans la colonne de gauche.

Mode opératoire. — L'instrument est supposé réglé comme toujours, de sorte que lorsqu'on tourne d'un angle compris dans le premier quadrant il apparaisse une image pour la plage de droite (à gauche dans le champ de l'instrument) ; la mise au point est rigoureuse. L'épreuve sera normalement éclairée pour que les bords de l'écran ne portent pas d'ombre ni d'un côté ni de l'autre ; pour la même raison épreuve et écran seront également comprimés. Le papier de l'écran sera le même que celui de l'épreuve, autant que possible à grains fins, les grains se dédoublant et donnant lieu à un changement d'uniformité du fond ; les champs à étudier doivent être uniformes.

Ce qu'il faut déterminer ce n'est pas la variation d'intensité des bords de l'écran, mais bien la limite de visibilité des bandes apparaissant ou disparaissant

sant, aussi est-il bon de mettre le fil du réticule en coïncidence avec ce bord pour le masquer.

En général il est plus facile d'apprécier les phénomènes se passant sur fond clair que sur fond teinté ; aussi l'écran blanc est-il préférable à l'écran noir.

Avec un écran blanc le phénomène le plus net est l'apparition ou disparition de l'image sur l'écran ; avec l'écran noir c'est le contraire et on apprécie mieux la limite d'accroissement que la limite de visibilité de l'image sur l'écran.

On obtient ainsi 8 valeurs (2 par quadrant) pour chaque image ; on les réduit au premier quadrant d'où deux couples de valeurs auxquelles on applique les formules données.

Sil'on fait deux tours complets on pourra déterminer d'une part l'erreur ϵ relative aux différents quadrants et l'erreur e qui est la différence entre les valeurs obtenues dans les quadrants correspondants ; on trouve que $\epsilon > e$.

Autre dispositif. — Au lieu de mettre la ligne A B joignant les deux plages, parallèle à la déviation, on peut lui donner la disposition de la figure 20 ; si A est plus intense que B, l'image A' apparaîtra avant B' sur l'écran.

Ce dispositif est plus simple en ce qu'il permet de faire toutes les mesures plus rapidement, mais il nécessite un champ plus grand.

Avec l'instrument étudié les mesures suivantes ont été obtenues sur des radiographies de poumon en comparant deux points symétriques.

Un des sommets avait un foyer tuberculeux, l'autre était sain :

$$K = \operatorname{tg}^2 50^{\circ} 30' = 1,47$$

Dans un autre cas : $K = \operatorname{tg}^2 48 = 1,23$

Le rapport des intensités d'un poumon sain à un poumon porteur d'une caverne :

$$1^{\text{er}} \text{ cas : } K = \operatorname{tg}^2 51^{\circ} = 1,53$$

$$2^{\circ} \text{ — } K = \operatorname{tg}^2 53^{\circ} = 1,76$$

Pour un pneumothorax : $K = \operatorname{tg}^2 63^{\circ} = 3,85$;

Pour un autre cas : $K = \operatorname{tg}^2 61^{\circ} = 3,25$.

Pour une pleurésie $K = \operatorname{tg}^2 58^{\circ} = 2,56$

Pour une bronchopneumonie $K = 2,20$

En comparant les différents procédés, par exemple pour une caverne, on a obtenu :

$$K_1 = \operatorname{tg}^2 48^{\circ} = 1,23$$

$$L_1 = \frac{\sin^2 14,5}{\sin^2 13} = 1,24$$

$$M_1 = \frac{\sin^2 64^{\circ}}{\sin^2 58^{\circ}} = 1,12$$

Ce qui montre que ces résultats sont comparables.

Si on emploie l'appareil à deux nicols, en visant d'un œil un écran blanc avec l'instrument, que de l'autre on examine à l'aide d'un simple tube la plage à étudier, on trouve qu'il faut tourner d'un angle γ le nicol pour obtenir l'égalité des deux plages ; en répétant avec l'autre image on obtiendra l'égalité

pour un angle γ' d'où $N = \frac{\cos^2 \gamma}{\cos^2 \gamma'}$.

Ces divers procédés appliqués à une même épreuve ont donné les résultats suivant :

$$K = 1,25$$

$$L = 1,15$$

$$M = 1,25$$

$$N = 1,10$$

Ce qui montre une concordance suffisante des méthodes.

En général on trouve des nombres plus élevés avec un écran noir qu'avec un écran blanc.

CONCLUSIONS

Il est possible d'évaluer facilement le rapport des intensités de deux plages d'une radioscopie ou d'une radiographie (rapport lucidimétrique).

Ce rapport est donc à substituer aux dénominations vagues : plus clair, gris; plus foncé, employées par exemple lorsqu'on compare deux poumons.

a) Parmi les nombreux procédés indiqués, en radioscopie on utilisera surtout :

1° Une échelle de teintes et on réalisera l'égalité de teintes ou bien on appréciera les limites dans lesquelles se trouve comprise la teinte cherchée :

2° Ou un polarisateur à deux nicols comme instrument de comparaison.

b) Pour une radiographie (cliché ou épreuve) les deux procédés précédents sont applicables, néanmoins il est préférable d'employer le polarisateur à spath et nicol soit avec la méthode de la tangente ou des sinus.

1° La méthode de la tangente est plus rapide, se fait en un temps, un seul angle à évaluer ; le résultat se trouve immédiatement dans la table ; mais il

faut que les deux plages soient suffisamment rapprochées pour être contenues dans le champ de la lunette ; d'autre part l'égalisation de teintes n'est pas toujours rigoureusement possible.

2° La méthode des sinus est plus longue, se fait en deux temps nécessite la mesure de deux angles, est d'une appréciation assez délicate ; les calculs sont plus longs à moins d'employer un graphique moins précis qu'une table. Mais cette méthode convient à tous les cas.

Aux armées, Juin 1918.

Vu : le Président de la thèse,

G. WEISS

Vu : le Doyen

ROGER

Vu et permis d'imprimer

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

L. POINCARÉ

α	$\uparrow \alpha'$	A	$\uparrow A'$	K	dK
45°	45°	180°	180°	1,000	
50	30	182	178	035	0,035
46°	44°	184	176	072	37
30'	30'	186	174	110	58
47°	43°	188	172	150	50
30'	30'	190	170	191	41
48°	42°	192	168	233	42
30'	30'	194	166	276	48
49°	41°	196	164	323	47
30'	30	198	162	371	48
50°	40°	200	160	420	49
30'	30'	202	158	472	52
51°	39°	204	156	525	53
30'	30'	206	154	580	55
52°	38°	208	152	638	58
30'	30'	210	150	698	60
53°	37°	212	148	761	63
30'	30'	214	146	826	65
54°	36°	216	144	894	68
30'	30	218	142	965	71
55°	35°	220	140	1,039	74
30'	30	222	138	1117	78
56°	34°	224	136	1198	81
30'	30'	226	134	1283	85
57°	33°	228	132	1371	88
30'	30'	230	130	1464	93
58°	32°	232	128	1561	97
30'	30'	234	126	1663	0,202
59°	31°	236	124	1770	07
30'	50'	238	122	1882	12
60°	30°	240	120	3,000	18
30'	30'	242	118	124	24
61°	29°	244	116	254	30
30'	30'	246	114	392	38
62°	28°	248	112	537	45
30'	30'	250	110	690	53
63°	27°	252	108	852	62
30'	30'	254	106	1,023	71
64°	26°	256	104	204	81
30'	30'	258	102	395	91
65°	25°	260	100	597	0,209
30'	30'	262	98	815	16
66°	24°	264	96	5,045	30
30'	30'	266	94	289	44
67°	23°	268	92	550	61
30'	22° 30'	270°	90°	828	78

α	$\uparrow \alpha'$	A	$\uparrow A'$	K	dK
68°	22°	272°	88°	6, 126	0.298
69° 30'	21° 30'	274°	86°	444	0.378
70° 30'	21° 30'	276°	84°	786	42
71° 30'	20° 30'	278°	82°	1,154	68
72° 30'	20° 30'	280°	80°	548	94
73° 30'	19° 30'	282°	78°	924	0.4.26
74° 30'	19° 30'	284°	76°	8,434	60
75° 30'	18° 30'	286°	74°	932	98
76° 30'	18° 30'	288°	72°	9,472	0.54
77° 30'	17° 30'	290°	70°	10,06	59
78° 30'	17° 30'	292°	68°	20	64
79° 30'	16° 30'	294°	66°	11,40	70
80° 30'	16° 30'	296°	64°	12,16	76
81° 30'	15° 30'	298°	62°	13,00	84
82° 30'	15° 30'	300°	60°	13,93	93
83° 30'	14° 30'	302°	58°	14,95	1,02
84° 30'	14° 30'	304°	56°	16,09	14
85° 30'	13° 30'	306°	54°	17,35	26
86° 30'	13° 30'	308°	52°	18,76	41
87° 30'	12° 30'	310°	50°	20,35	59
88° 30'	12° 30'	312°	48°	22,14	79
89° 30'	11° 30'	314°	46°	24,16	2,02
90° 30'	11° 30'	316°	44°	26,47	31
91° 30'	10° 30'	318°	42°	29,11	49
92° 30'	10° 30'	320°	40°	32,16	3,05
93° 30'	9° 30'	322°	38°	35,21	55
94° 30'	9° 30'	324°	36°	39,86	4,15
95° 30'	8° 30'	326°	34°	44,77	91
96° 30'	8° 30'	328°	32°	50,63	5,86
97° 30'	7° 30'	330°	30°	57,20	7,07
98° 30'	7° 30'	332°	28°	66,33	8,63
99° 30'	6° 30'	334°	26°	77,02	16,7
100° 30'	6° 30'	336°	24°	90,52	13,5
101° 30'	5° 30'	338°	22°	107,8	12,3
102° 30'	5° 30'	340°	20°	130,6	22,8
103° 30'	4° 30'	342°	18°	161,4	30,8
104° 30'	4° 30'	344°	16°	204,5	43,1
105° 30'	3° 30'	346°	14°	262,3	62,8
106° 30'	3° 30'	348°	12°	364,1	96,8
107° 30'	2° 30'	350°	10°	524,6	161
108° 30'	2° 30'	352°	8°	820,0	295
109° 30'	1° 30'	354°	6°	1,458	638
110° 30'	1° 30'	356°	4°	3.282	1.824
111° 30'	0° 30'	358°	2°	13.130	9.848
112° 30'	0° 30'	360°	0°	∞	∞

TABLE BIBLIOGRAPHIQUE

Abréviations : Arch. El. méd. : Archives Electricité médicale.
Ass. Av. Sc. : Association Française pour l'Avancement des Sciences.
Bull. Astr. : Bulletin Astronomique de l'Observatoire de Paris.
Bull. Soc. Astr. : Bulletin de la Société Astronomique de France.
C. R. : Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

ARAGO. — Œuvres complètes.

BARJON. — Radiodiagnostic des affections pleuro-pulmonaires.

BAILLAUD (J.). — C. R. 1901, t. 132 ; 1913, t. 156. — Bull. Soc. Astr. 1913-1914.

BÉCLÈRE. — In Traité de Radiologie de Bouchard.

BELOT. — Arch. El. méd. 1906.

BENOIST. — C. R. 1901, t. 132. — Arch. El. méd. 1906.

BERNARD (Claude). — Introduction à l'étude de la médecine expérimentale.

BIGOURDAN. — Annuaire du Bureau des Longitudes, 1909.

BLONDEL. — Ass. Av. Sc., 1907. — C. R. 1913.

CAMICHEL. — C. R., 1903, t. 137.

CÉRASKI. — In Bull. Astr., 1907.

CONTREMOULINS. — C. R, 1902, t. 134 ; 1905, t. 141.

COURTADE. — Société de Biologie : 1908, t. 64.

DELORME. — Archives de médecine militaire, août 1916.

FABRY et BUISSON. — C. R. 1913, t. 156.

FABRY. — Ass. Av. Sc. : 1903.

GLEY. — Traité de physiologie.

GUILLEMINOT. — C. R. 1908, t. 146. — Arch. El. méd. 1909, 1910. — Rayons X et radiations diverses.

- HENRY. — C. R. 1892, t. 115; 1893, t. 116; 1907, t. 145.
IMBERT. — Arch. El. méd., 1898.
JAMIN et BOUTY. — Traité de physique.
LE ROUX. — C. R. 1904, t. 138.
MASCART. — Traité d'optique.
MESLIN. — Ass. Av. Sc. (Congrès 1907).
NORDMANN. — C. R. 1908, t. 146. — Bull. Astr., 1909.
SALET. — Spectroscopie.
STANOIEVITCH. — C. R., 1901, t. 133; 1902, t. 134.
TOUCHET. — Ass. Av. Sc., 1903.
TURCHINI. — Thèse Paris, 1905.
VIOLE. — C. R. 1896, t. 122.
ALBERT (E.) WEILL. — Paris médical, 2 mars 1918.
-

TABLE DES MATIÈRES

Pages

CHAPITRE PREMIER

I. — INTÉRÊT DE LA QUESTION

§ 1. — Introduction.] — Intérêt théorique [du problème. — Nécessité des mesures.....	9
§ 2. — Intérêt clinique. — Rapport lucidimétrique. — Mesure de la transparence des poumons : à l'état normal ; à l'état pathologique. — Élément de pronostic. — Mesure de la transparence osseuse. — Intérêt de curiosité.....	11
§ 3. — Difficultés. — Erreurs. — Méthodes employées.	16

CHAPITRE II

PRINCIPES GÉNÉRAUX. — PHOTOMÉTRIE RADIOSCOPIQUE

<i>I. — Photométrie théorique.....</i>	20
§ 1. — Sources étalon ou de comparaison : flammes, sels phosphorescents, électricité.....	20
§ 2. — Variation de l'éclairement : variation de distance de la source ; diaphragmes, absorption, réflexions successives, appareils à secteurs tournants, polarisation.....	23
§ 3. — Ecran photométrique. — Transparence en diffusion. — Eclairement.....	29
§ 4. — Organes accessoires : Prisme de Lummer. — Ecran à contraste.....	32

<i>II. — Types d'appareils à employer.....</i>	33
§ 1. — Appareil direct ou latéral.....	34
§ 2. — Photomètre Touchet, Mascart, Blondel.....	35
§ 3. — Photomètre Bouguer, Foucault, Rumford, Bun- sen.....	36
§ 4. — Appareil à double image. — Spectrophoto- mètre.....	38
§ 5. — Appareils basés sur l'acuité visuelle.....	39
§ 6. — Appareils par extinction ou neutralisation...	41
§ 7. — Polarisation.....	42
§ 8. — Autres méthodes.....	46
§ 9. — Procédés déjà employés en radiologie.....	47
<i>III. — Physiologie. — Sensibilité. — Erreurs. —</i> <i>Inégale sensibilité de la rétine. — Acuité</i> <i>visuelle. — Inertie rétinienne.....</i>	48

CHAPITRE III

PHOTOMÉTRIE RADIOGRAPHIQUE

§ 1. — Définitions. — Lois de photométrie photogra- phique. — Propriétés des plaques.....	55
§ 2. — Radiographie sur plaques. — Comparaison au point de vue photométrique entre la radiosco- pie et la radiographie. — Appareils suscep- tibles d'être employés.....	57
§ 3. — Autres instruments spéciaux, opacité, échelle de teintes.....	59
§ 4. — Radiographies sur papier. — Modifications à apporter aux appareils. — Appareil d'Arago. — Echelle de teintes.....	64
§ 5. — Avantages et inconvénients de la radioscopie et de la radiographie sur plaque ou sur papier.	66

CHAPITRE IV

EXPÉRIENCES. — RÉSULTATS.

§ 1. — Photomètre genre Bouguer en radioscopie....	71
§ 2. — Spectroscope. — Spectre de l'écran. — Réalisation d'une source de comparaison. — Instrument direct de comparaison.....	72
§ 3. — Polarisateur. — Instrument à 2 nicols (N. N.); à spath et nicol (S. N.). — Description de l'instrument. — Réglage. — Eclairage. — Emploi direct de S. N. — S. N. et N. N. instruments de comparaison en radioscopie. — Emploi direct de N. N.....	73
§ 4. — Expériences en radioscopie: N. N. indirect. — S. N. direct.....	81
§ 5. — Méthode de la tangente ou de l'égalisation (épreuve radiographique). — Technique. — Calculs. — Erreur de collimation. — Erreur absolue, relative. — Sensibilité. — Influence de l'écran. — Méthode des tangentes en deux temps.....	83
§ 6. — Méthode des sinus ou des limites. — Technique. — Erreur absolue, relative. — Comparaison des erreurs ΔK et ΔL . — Calcul graphique des rapports : $\frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha'}$; $\frac{\cos^2 \alpha}{\cos^2 \alpha'}$; $\frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha'}$; $\frac{\cos^2 \alpha}{\sin^2 \alpha'}$. — Mode opératoire. — Autre dispositif. — Résultats obtenus sur des radiographies de poumon. — N. N. instrument de comparaison en radiographie.....	90
CONCLUSIONS.....	103
TABLE DONNANT $K = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \alpha'}$	106
FIGURES.....	107
TABLE BIBLIOGRAPHIQUE.....	111
TABLE DES MATIÈRES.....	113

Imp. de la Faculté de Médecine, 15, rue Racine, Paris. — 3881-18.

183

THÈSE
POUR
LE DOCTORAT EN MÉDECINE

